

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»
УДК 669.018.9

До захисту допущено
Завідувач кафедри
М.М. Ямшинський
(ініціали, прізвище)

(підпис)

“ ____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 136 Металургія

на тему: Процеси структуроутворення литих алюмоматричних композиційних виливків, виготовлених з використанням продуктів рециклінгу

Виконав: студент 6 курсу, групи ФЛ-71мп

Івахненко Максим Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

д.т.н., проф. Затуловський А.С.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

к.т.н., доц. Зацарний В.В.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з економічно-організаційної частини

к.е.н., доц. Глущенко Я.І.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю

к.т.н., доц. Федоров Г.Є.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

д.т.н., с.н.с. Бубликов В.Б.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 р.

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет інженерно-фізичний

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 136 Металургія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.М. Ямшинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2018 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Івахненко Максиму Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Процеси структуроутворення литих алюмоматричних композиційних виливків, виготовлених з використанням продуктів рециклінгу», науковий керівник Затуловський Андрій Сергійович, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від « 09 » листопада 2018 року 4127-с
2. Строк подання студентом дисертації: 07 грудня 2018 року
3. Об'єкт дослідження: алюмоматричний композиційний матеріал, армований продуктами рециклінгу.
4. Предмет дослідження: структура та ливарні властивості алюмоматричного композиційного матеріалу, отриманого за допомогою механічного замішування.
5. Перелік питань, які потрібно розробити: 5.1 Опрацювати та проаналізувати літературу за темою дослідження; 5.2 Оптимізувати методику дослідження; 5.3 Провести експерименти; 5.4 Виготовити зразки; 5.5 Дослідити ливарні властивості отриманих зразків; 5.6 Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; 5.7 Розробити організаційно-економічну частину роботи; 5.8 Сформулювати загальні висновки та рекомендації.
6. Перелік ілюстративного матеріалу: Презентація (17 слайдів)
7. Перелік публікацій: 7.1 Литі біметалеві втулки із зносостійким композиційним шаром / А. С. Затуловський, В. А. Щерецький, М. О. Івахненко // Нові матеріали і технології в машинобудуванні, 2. – 2017. – С 17-19.
7.2 Траєкторія руху частинок при відцентровому литті гетерофазних

металокомпозитів / Затуловский А.С., Щерецкий В.А., Івахненко М.О. //
X Міжнародна науково-технічна конференція Нові матеріали і технології в
машинобудуванні-2018: матеріали науково-технічної конференції, 24...25
квітня 2018 р., м. Київ / загальна редакція Р. В. Лютий, І. М. Гурія. – Київ: КПІ
ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С 66 – 69.

8. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зацарний В.В., доцент		
Економічно-організаційна частина	Глущенко Я.І., доцент		
Нормоконтроль	Федоров Г.Є., доцент		

9. Дата видачі завдання 3 вересня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Переддипломна науково-дослідна практика	03.09...28.10.2018р.	
2	Опрацювання та аналіз літератури за темою Дослідження	03.09...10.10.2018р.	
3	Оптимізація методики дослідження	04.09...10.09.2018р.	
4	Планування та реалізація експериментів	14.09...04.10.2018р.	
5	Виготовлення зразків, їх дослідження та аналіз Результатів	16.09...12.11.2018р.	
6	Виконання організаційно-економічної частини	21.11...27.11.2018р.	
7	Виконання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	25.11...30.11.2018р.	
8	Виконання ілюстративної частини роботи	01.12...03.12.2018р.	
9	Оформлення магістерської дисертації	02.12...05.12.2018р.	
10	Подання дипломної роботи до захисту	07.12.2018р.	
11	Рецензування дипломної роботи	05.12...07.12.2018р.	
12	Захист дипломної роботи	19.12.2018р.	

Студент

Науковий керівник

(підпис)_____
(підпис)Івахненко М.О.

(прізвище та ініціали)

Затуловський А.С.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 117 с., 30 рис., 16 табл., 49 посилань.

Об'єкт дослідження – алюмоматричний композиційний матеріал, армований продуктами рециклінгу.

Предмет дослідження – структура та ливарні властивості алюмоматричного композиційного матеріалу, отриманого за допомогою механічного замішування.

Мета роботи – створення ресурсозберігаючої технології одержання композиційних матеріалів, з використанням продуктів рециклінгу, а також дослідження їх ливарних властивостей.

Методи дослідження – у роботі застосовано методики виготовлення композитів за допомогою механічного замішування та відцентрового лиття .

Результати досліджень – встановлено, що при армуванні композиційних матеріалів продуктами рециклінгу рідкотекучість екзогенних композиційних матеріалів зменшується при збільшенні введених зміцнюючих часток, а внесення частинок кам'яного литва в алюмінієві сплави АК7, АК12, АЛ25 в кількості до 6 ваг.% в середньому знижує абсолютну об'ємну усадку на 2 %.

Ступінь впровадження – лабораторні випробування.

Галузі застосування – машинобудування, металургія, гірничо-промисловість.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – армування композиційних матеріалів продуктами рециклінгу доцільно використовувати для зниження абсолютної об'ємної усадки та підвищення зносостійкості.

КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, АЛЮМІНІЙ, АРМУВАННЯ, СТРУКТУРА, ЛИВАРНІ ВЛАСТИВОСТІ, ПРОДУКТИ РЕЦИКЛІНГУ

ABSTRACT

Master's dissertation: p., fig, tab., Reference.

Object of research – aluminum matrix composite material, reinforced with recycling products.

Subject of research – structure and casting properties of aluminum matrix composite material obtained by mechanical kneading.

The purpose of the work is to create a resource-saving technology for the production of composite materials, using recycling products, as well as studying their casting properties.

Methods of research – in the work methods of making composites using mechanical kneading and centrifugal casting are used.

The results of the research – it was established that during the reinforcement of composite materials by recycling products, the rarefaction of exogenous composite materials decreases with increasing of the reinforcing particles introduced, and the introduction of casting particles in aluminum alloys AK7, AK12, AL25 in an amount up to 6 wt% reduces the average absolute Capacity shrinkage by 2%.

The degree of implementation - laboratory tests.

Areas of application – machine building, metallurgy, mining.

Foreseeable assumptions about the development of the research object – the reinforcement of composite materials with recycling products should be used to reduce the absolute volume of shrinkage and increase wear resistance.

COMPOSITE MATERIAL, ALUMINUM, ARMING, STRUCTURE, CASTING PROPERTIES, PRODUCTS OF RECYCLING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	10
ВСТУП.....	11
1. СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	12
1.1 Ефективність і перспективи застосування литих композиційних матеріалів.....	12
1.2 Характеристика сировинної бази економно-армованих ЛКМ	14
1.3 Актуальні питання використання металевої стружки при отриманні литого композиційного матеріалу	16
1.4 Металеві матриці для виготовлення композиційного матеріалу	18
1.5 Способи виготовлення композиційного матеріалу	19
Висновки до розділу 1	23
2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
2.1 Вибір матриць та зміцнюючих елементів для одержання композиційних виливоків	24
2.2 Технологія заливання гетерофазного розплаву, який виготовлено за допомогою механічного замішування зміцнюючих елементів	29
2.3 Відцентрове лиття, як ефективний спосіб одержання екзо- та ендогенних композитів з матрицями з алюмінієвих сплавів.....	36
2.4 Литі композити на основі алюмінієвих сплавів, армованих мідно-сплавною стружкою, які виготовлено за допомогою додаткових впливів	37
Висновки до розділу 2	45
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ, ЛИВАРНИХ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИТІВ З МЕТАЛЕВИМИ ТА НЕМЕТАЛЕВИМИ АРМУЮЧИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ	46
3.1 Ливарні властивості алюмоматричних композиційних матеріалів та вплив на них зміцнюючих частинок.....	46

3.2 Особливості взаємодії зміцнюючих наповнювачів з матричним алюмінієвим розплавом	59
Висновки до розділу 3	73
4. ОРГАНІЗАЦІЙНО–ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	75
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	75
4.2 Розрахунок планових витрат на проведення НДР	75
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	76
4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску	79
4.2.3 Матеріали необхідні для проведення досліджень	79
4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання	80
4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій	80
4.2.6 Витрати на службові відрядження	80
4.2.7 Інші прямі невраховані витрати по темі	81
4.2.8 Інші прямі невраховані витрати по темі	81
4.2.9 Визначення планової кошторисної вартості теми.....	81
4.3 Науково-технічна ефективність НДР	82
Висновки до розділу 4	85
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	86
5.1 Аналіз параметрів приміщення.....	86
5.2 Аналіз освітленості приміщення	88
5.3 Шум та вібрація	92
5.4 Запиленість та загазованість	93
5.5 Електробезпека	93
5.6 Пожежна безпека.....	96
5.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	98
Висновки до розділу 5	100
6. БІЗНЕС-ПРОЕКТ.....	101
6.1 Команда	101
6.2 Назва проекту	101
6.3 Команда	101

6.4 Назва проекту	102
6.4.1 Цінний продукт	102
6.4.2 Сегмент споживачів	102
6.4.3 Канал збуту	102
6.4.4 Взаємодія з споживачами	103
6.4.5 Дохід	103
6.4.6 Ключові види діяльності	103
6.4.7 Ключові ресурси	104
6.4.8 Ключові партнери	104
6.4.9 Витрати	104
6.5 Споживчі властивості товару	104
6.6 Дослідження ринку	105
6.7 Дослідження конкурентного оточення	105
6.8 Маркетингова стратегія просування	105
6.9 Елементи фінансового плану	105
6.9.1 Опис бізнес проекту	105
6.9.2 Опис товару /послуги/технології	106
6.9.3 Маркетинг та продаж	106
6.9.4 Фінансовий план	106
6.9.5 Резюме	107
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	109
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	111
ДОДАТКИ	116

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

КМ – композиційні матеріали

ЛКМ – литі композиційні матеріали

(Cu) – твердий розчин на основі міді

ОЦК – об'ємноцентрована кубічна ґратка

ГЦК – гранецентрована кубічна ґратка

МКМ – металоматричні композиційні матеріали

ВСТУП

Вітчизняні та зарубіжні дослідження в даний час сконцентровані в напрямку синтезу композиційних матеріалів на основі алюмінієвих сплавів. Це зумовлено розширенням їх практичного застосування в різних галузях техніки. Підвищення вимог до рівня і стабільності властивостей металовиробів не завжди задовольняється за рахунок традиційних способів їх отримання і обробки. Тому виникає необхідність пошуку нових методів, що забезпечують оптимальний комплекс фізико-механічних властивостей матеріалів для різноманітних умов експлуатації. Одним з прогресивних варіантів виготовлення композитів на алюмінієвій основі є метод рідиннофазового реакційного синтезу. В його основі - формування «in-situ» армуючих елементів, що виникають в результаті реакції між матричним сплавом і вводиться в нього реакційно-активною добавкою. Така армована фаза має високу термодинамічну стабільність і гарну адгезію до матриці[1].

Використання неметалевих і металевих відходів є найважливішим резервом раціонального використання мінеральних ресурсів, дозволяє зменшити потребу в руді, флюсах, паливі, знизити енергетичні та матеріальні витрати на виробництво, сприяє поліпшенню екологічної обстановки. Ефективна утилізація стружки чорних і кольорових сплавів, продуктів рециклінгу композитів, деяких видів неметалічних матеріалів за рахунок використання при виробництві литих композиційних матеріалів – невичерпний сировинний резерв при розробці і виробництві литих композиційних деталей [2].

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Постійним джерелом промислових відходів в Україні є діючі підприємства гірничодобувної, переробної, металургійної, енергетичної, хімічної та інших галузей промисловості. Загальні обсяги їх накопичення складають близько 25 млрд. тон і при роботі підприємств на повну потужність щорічно можуть збільшуватися приблизно на 1 млрд. тон [3].

1.1 Ефективність і перспективи застосування литих композиційних матеріалів

У останні роки в зв'язку з значним посиленням робочих режимів обладнання, підвищенням вимог до властивостей матеріалів в промисловості України та ін. Країн спостерігається гостра потреба у створенні нових, порівняно недорогих і недефіцитних трибоматеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Ситуацію, що склалася в області розробки і застосування зносостійких матеріалів можна представити таким чином (таблиця 1.1) [4].

Таблиця 1.1 – Характеристика рівня забезпеченості техніки зносостійкими матеріалами

Матеріали, Призначення	Ступінь забезпеченості техніки матеріалами необхідного рівня властивостей, %	Вимоги до властивостей нових матеріалів
Для сухого и абразивного тертя	50-60	Підвищення зносостійкості в 2-5 разів
Для тертя при підвищених температурах	10	Те ж у 3-7 разів
Для тертя в агресивних середовищах	25	Те ж у 5-10 разів

На практиці недостатня зносостійкість призводить до простоїв обладнання, завищеними енерго- і матеріальних витрат, невиправданого збільшення кількості

ремонтів і виробництва запчастин. Для мінімізації зазначених негативних факторів необхідно відмовитися від практики використання відомих, традиційних, часто дорогих і дефіцитних трибоматеріалів, а також від імпорту матеріалів і запчастин з далекого і ближнього зарубіжжя.

Згідно з наявними даними [5,6], заміна традиційних металевих мономатеріалів на КМ дає можливість підвищити надійність і довговічність роботи деталей в 1,5-4,0 рази, знизити матеріаломісткість деталей машин до 2,5 раз, зменшити трудомісткість виготовлення і скоротити час на організацію виробництва нових відповідальних деталей до 2,5 раз.

З огляду на безперечні переваги і принципово нові можливості КМ, найважливішою науково-технічною проблемою є розширення застосування композитів в різних областях техніки, в тому числі і в масовому машинобудуванні. У даний час в галузях масового машинобудування проводяться роботи з вишукування практичних ефективних варіантів застосування КМ. Сьогодні це пов'язано з виконанням, по крайній мірі, важливих умов:

- технологія отримання та властивості КМ повинні задовольняти специфічним вимогам масового виробництва;
- вартість КМ повинна бути економічно вигідна і по можливості наближена до вартості традиційних мономатеріалів.

Плідним напрямком вирішення зазначених завдань є виготовлення деталей масового машинобудування з КМ методом рідиннофазового суміщення з використанням ливарних технологій, композиційного лиття (КЛ). Метод рідиннофазового суміщення елементів КМ є найбільш перспективним і забезпечує отримання композиційних виробів із заданими властивостями широкої номенклатури за складом конфігурації і розмірам. КЛ має ряд істотних переваг в порівнянні з твердофазними методами: скорочений виробничий цикл, більш просте стандартне обладнання, можливість використання вторинної сировини і відходів виробництва. При використанні КЛ виробництво деталей з КМ може бути організовано в діючих цехах на існуючому металургійному обладнанні з мінімальними витратами. Зазначені фактори і технічні особливості роблять литі

композиційні матеріали (КМ) доступними і економічно вигідними для масового машинобудування.

Удосконалення і розробка нових технологій КЛ, розширення номенклатури армуючих елементів і матричних сплавів, створення нових зносостійких ЛКМ і розмірно стабільних конструкцій сприяли в останні роки інтенсифікації робіт в області композитів з металевою матрицею, створення техніко-економічних передумов для широкого застосування КМ в галузях масового машинобудування. Для України і багатьох інших країн ця проблема є надзвичайно актуальною в зв'язку з вкрай обмеженими сировинними ресурсами легуючих і базових матеріалів, необхідністю зниження матеріало- та енергоємності механізмів і машин. Вирішення цих проблем вимагає створення наукових і технологічних основ комплексного поліпшення фізико-механічних і експлуатаційних властивостей литих виробів КМ масового призначення, в тому числі за рахунок розробки та впровадження нових видів економно армованих (ЛАМ), отриманих з використанням техногенних відходів.

1.2 Характеристика сировинної бази економно-армованих ЛАМ

Науково-технічний прогрес супроводжується зростанням споживання природних ресурсів і одночасним збільшенням виробничих і побутових відходів. За останні 20 років кількість відходів в промислово розвинених країнах зросло в 2-3 рази. У світі щорічно утворюється близько 50 млрд.т відходів. Вихід твердих побутових відходів становить в США 744 кг на людину в рік, Австрії – 881 кг, Канаді – 635 кг, Нідерландах – 449 кг, Японії -344 кг. Проблема раціонального використання відходів тісно пов'язана з ефективністю суспільного виробництва і захистом навколишнього середовища [7,8]. Аналогічні явища спостерігаються в Україні. Згідно з наявними прогнозами, обсяги відходів в 2025р. можуть збільшитися в 4-5 разів. Тільки металургійна промисловість України утворила в 1996р. 12,9млн.т шлаків, які використані на 45,6%. Багатотонні відходи створює хімічна промисловість, а їх використання не перевищує 5%. Загальна маса відходів в

поверхневих сховищах перевищила 25млрд.т. У 1980 році на одного жителя України припадало 240т відходів, а в 2007р. - вже понад 400т. Щорічний приріст твердих побутових відходів становить 2%, а абсолютний обсяг їх утворення - понад 12 млн.т на рік. Збільшення кількості техногенних і побутових відходів, в т.ч. небезпечних, недостатні переробка і використання, погано організовані сховища негативно впливають на стан навколишнього середовища і здоров'я людини.

Таким чином, проблема утилізації відходів набуває все більшої гостроти, в екологічному, соціальному та економічному аспектах. Наприклад, при виробництві сталі з металобрухту в 6,5 раз знижуються викиди в атмосферу, в 4 рази - забруднення води, в 16 разів - кількість твердих відходів. Крім того, така сталь в 20 разів дешевше, ніж сталь виготовлена з руди.

З точки зору виходу найбільш дорогих продуктів, першочерговості переробки відходів, шкідливості переробки та очікуваної ефективності утилізації, промислові відходи були умовно поділені на 3 групи [7]: 1) відходи, що містять дорогоцінні метали. До цієї групи відносять відходи у вигляді каталізаторів, шламів, шлаків і ін. Містять ванадій, цинк, олово, свинець, мідь, РЗМ і ін. Цінні метали; 2) відходи, що містять органіку: відходи від переробки полімерів, опади очисних споруд, кубові опади і т.д. 3) відходи гальванічних виробництв, які містять до 20% кольорових металів таких, як мідь, хром, нікель, цинк, кадмій.

В Україні пріоритет накопичення твердих відходів належить гірничо-металургійному комплексу: 37% від загальної кількості відходів [9]. Одне лише перерахування основних видів відходів металургійного виробництва свідчить про масштабність і значущість для нашої держави ефективної їх утилізації агломераційні шлами, шлами сталеплавильного виробництва, окалина прокатного виробництва, коксовий дріб'язок, продукти переробки шлакових відвалів, металевої стружки та ін. В машинобудівної промисловості кількість відходів значно нижче, але за своїм станом вони більше підготовлені для повторного промислового використання. Відходи цих двох галузей за хімічним складом є найбільш цінними з точки зору повернення їх в металургійний переділ, в тому числі і для виробництва ЛКМ. Використання неметалевих і металевих відходів є найважливішим резервом

раціонального використання мінеральних ресурсів, дозволяє зменшити потребу в руді, флюсах, паливі, знизити енерго- і матеріальні витрати на виробництво, сприяє поліпшенню екологічної обстановки. Використання відходів, зменшення їх шкідливого впливу на навколишнє середовище, не дивлячись на тимчасове зниження обсягів виробництва багатьох видів продукції, залишається для України все більш актуальною і важливою задачею [10]. З іншого боку, зазначені негативні фактори змушують активізувати роботи по утилізації відходів, шукати нові ефективні технології їх використання. У даній роботі будуть розглянуті можливості ефективної утилізації стружки чорних і кольорових сплавів, деяких видів неметалічних матеріалів за рахунок використання при виробництві литих композиційних матеріалів. Представлений короткий огляд однозначно свідчить про наявність невичерпної сировинної бази для отримання економно армованих ЛКМ.

1.3 Актуальні питання використання металевої стружки при отриманні ЛКМ

Металева стружка різної крупності і складу утворюється частково на металургійних і в основному на багатьох машинобудівних та інших металообробних підприємствах. Кількість і номенклатура, шляхи утилізації стружки в даний час уточняється.

У найбільшому обсязі утворюються сталева, чавунна й алюмінієву стружку. Велика сталевий та чавунний стружка значною мірою готується до подальшого переділу підприємствами Вторчормету. Однак в ряді випадків, особливо при обробці високолегованих чавунів і сталей, більш правильним є не змішувати стружку з іншими матеріалами і готувати з неї сировину, яке безпосередньо застосовувалося б при виплавці відповідних марок сталі і чавуну.

Вторинні кольорові метали і сплави широко застосовуються в нашій державі і за кордоном. Їх роль значно зросла особливо останнім часом. Вони є важливим сировинним резервом кольорової металургії, оскільки по відношенню до загального обсягу виробництва кольорових металів складають більше 30%. При цьому відходи в стружку досягають 40% всіх відходів, що утворюються кольорових металів і

сплавів. Транспортування і переробка стружки існуючими способами переплавки пов'язані з великими безповоротними втратами і втрачають до 40% від маси, погіршенням екологічних умов праці робітників. Рівень використання вторинних кольорових металів і сплавів ще невисокий. Номенклатура відходів, що підлягають використанню замість первинної сировини і матеріалів, розширюється недостатньо, слабо поширюється передовий вітчизняний і зарубіжний досвід утилізації промислових відходів. Тому важливим і актуальним для промисловості України є розробка та впровадження нових без- або маловідходних технологій утилізації стружки на основі раціонального наукового підходу.

Відходи кольорових металів утворюються при їх механічній обробці, в металургійних процесах, при нанесенні захисних покриттів і т.д. При розливанні металу, наприклад, утворюються відходи у вигляді великих бризок, сплесків, знімання. При обробці злитків на прокатних станах, пресах, молотах виходять відходи у вигляді крайок, обрізків, висікання. В результаті механічної обробки напівфабрикатів значна частина металу переходить в стружку, обрізки, виштамповку.

Відходи алюмінію і його сплавів утворюються при виробництві фасонного лиття, кабельних виробів, дроту, фольги, при механічній обробці прокату і лиття. До відходів належать стружка, обрізки, виштамповка, знімання, сплески, шлаки, пропіловка і ін. Вторинне алюмінієву сировину складається з виробничих відходів 75% і амортизаційного брухту 25%. Склад відходів, %: стружки 3,5, кускові відходи 32 і шлаки 8. Лом з залізними приділками становить близько 9% [11]. Значні труднощі виникають на підприємствах вторинної кольорової металургії при переробці стружки і шлаків. Стружка становить найбільшу групу алюмінієвих відходів. Частка її в загальній кількості відходів і брухту досягає 40%. Близько 70% всієї стружки надходить в змішаному вигляді, а поділ її по групах сплавів - складна проблема [12,13].

1.4 Металеві матриці для виготовлення композиційного матеріалу

У даний час виготовлені та застосовуються практично композитні матеріали на основі легкосплавних сплавів, особливо на магнієвих сплавах, алюмінієвих сплавах та матрицях з титанового сплаву, а також високотемпературних суперсплавів на основі нікелю, армованого сталевими частинками керамічної дисперсії.

Композитні матеріали на базі легких металевих сплавів характеризуються дуже хорошими механічними властивостями і знаходять застосування в технології виробництва літаків та автомобілів, в оборонних технологіях та в космонавтиці.

Композитні матеріали на основі легких металічних сплавів підсилюються дисперсійними частинками, тромбоцитами, коротким волокном і безперервними волокнами.[14]

Тривалий час алюмінієві сплави були одними з найбільш широко використовуваних матеріалів для матриць в ЛКМ, як в дослідженні та розробці, так і в промислових цілях. Головним чином це пов'язано з низькою щільністю алюмінієвих сплавів (перша вимога в більшості додатків). Крім того, вони дешеві в порівнянні з іншими сплавами низької щільності (наприклад, Mg або Ti). Нарешті, алюмінієві сплави є дуже відомими сплавами завдяки їх високому використанню в декількох галузях промисловості, від автомобільної та авіаційної промисловості до дозвілля. Їх поведінка, з різних точок зору (сила, пластичність, корозія), дуже добре відома і може бути змінена, щоб задовольнити різні програми.

З усіх алюмінієвих сплавів, особливо рекомендованих для ЛКМ, відносяться загартовані старінням сплави Al (Al-Cu-Mg та Al-Zn-Mg-Cu) [15].

Керамічні частинки є одними з найбільш широко використовуваних матеріалів для армування алюмінієвих сплавів. Таким чином, процес старіння може прискорюватися при старінні сплавів і твердість може бути значно покращено з прямим впливом та зносостійкістю. Широко використовуваними частинками для підсилення алюмінієвих сплавів є SiC та Al₂O₃. Окрім того, що щільність її трохи вище, ніж щільність алюмінію з SiC, вона є серед широко використовуваних через невисоку вартість та широкий спектр доступних сортів. SiC сприяє збільшенню

модуля Юнга та міцності на розрив композиту . Ще однією цікавою перевагою підкріплення SiC є збільшення зносостійкості.

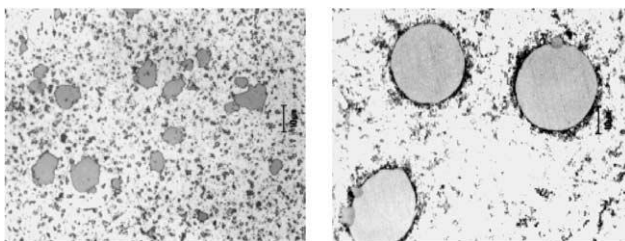


Рис. 1 – Лівий: механічно-легалізована інтерметалічна структура; Правий: розпилене міжметалеве армування алюмінієвого сплаву.

Другим найпоширенішим підкріпленням є Al_2O_3 . У порівнянні з SiC він більш стабільний і інертний і має кращу корозійну і високотемпературну поведінку [15]. Спосіб розв'язування його не реактивності з матрицею – це сплави матриці або покриття арматури.

Взагалі, композити з алюмінієвої матриці демонструють високий рівень механічних властивостей у порівнянні з іншими альтернативними технологічними процесами. До основних сплавів досягаються найкращі механічні властивості з відповідною термообробкою, спеціально розробленою для кожного ЛКМ, оскільки армування може змінювати розчин і умови старіння. Одне вдосконалення композитів щодо основних сплавів матриці - це поведінка при високій температурі, яка, як правило, покращується завдяки впливу керамічних підкріплень. У випадку матриці Al, це може бути збільшено до більш ніж 200 МПа при міцності на розрив за короткі періоди часу тривання при 300 8C [15]. Більш тривалий період може призвести до появи розмірних нестабільностей.

1.5 Способи виготовлення композиційного матеріалу

Всі способи виробництва ММК можуть бути використані більш-менш ефективним способом отримання неоднорідної структури, але не всі вони мають потенціал для гнучкого впливу на отриману структуру. Здається, що відцентрове відливання та утилізація електромагнітного поля є двома способами ефективного управління розподілом частинок в ММК. Стиснуте лиття - це найпопулярніша

технологія лиття для фільтрації розплавлених металів у градуїзовані преформи. Також розробляються спеціальні методи для поверхневого осадження структурованих покриттів. Механічна або хімічна поверхнева обробка також використовувалася для виробництва поступово структурованих поверхонь, хоча цей підхід не дуже ефективний[16].

Взагалі, існує два способи управління градуїваною структурою у виробництві ММС. Перший складається з попередньої підготовки та розташування складових компонентів після одержання кінцевого продукту за допомогою певної методики обробки розплаву. Типовими прикладами є: розплав у фільтрації в градуїзованій преформі, спікання поступово складеного порошку та послідовне заповнення форми за допомогою розплавів різного складу. Другий спосіб заснований на застосуванні одного або декількох зовнішніх силових полів, які впливають на окремі компоненти у певній рідкій композиційній суспензії. Такі поля можуть бути гравітаційними, відцентровими, термічними, магнітними, електричними, електромагнітними, ультразвуковими тощо. Деякі методи обробки поверхні також були розроблені для одержання тонких поверхневих шарів із градуїваною структурою, яка задовольняє вимоги до конкретних застосувань. Вони включають в себе хімічну обробку, механічне очищення від виснаження, важку пластичну деформацію та обмежене застосування.

Функціонально градуївані алюмінієві матричні композити, армовані частинками SiC, є привабливими матеріалами для широкого кола інженерних застосувань, коли завгодно потрібна чудова комбінація поверхневих та масових механічних властивостей. Загалом, ці матеріали були розроблені для виготовлення зносостійких компонентів. Такий тип функціональних елементів часто експлуатується за наявності агресивних середовищ.

Також для виготовлення металоматричних композитів використовуються методи рідиннофазового просочення до яких відносять такі технології:

- литво з перемішуванням;
- інфільтрацію під газовим тиском;
- литво під тиском;

- литво вичавлюванням.

Методи просочення під тиском використовуються для виготовлення металевих композиційних матеріалів з 70-х років [17]. Наразі розроблено багато варіантів таких технологій спільним в яких є накладання додаткового тиску на розплав, яким просочуються зміцнюючі фази.

Найбільш технологічною є схема, згідно якої тиск утворюється твердим поршнем в металевій формі [18-20]. Просочення вичавлюванням – це технологія виготовлення металоматричних композитів за допомогою безпосереднього тиску поршня на рідкий метал, який просочується у пористу заготовку [21-23]. Схема процесу зображена на рисунку 1.1

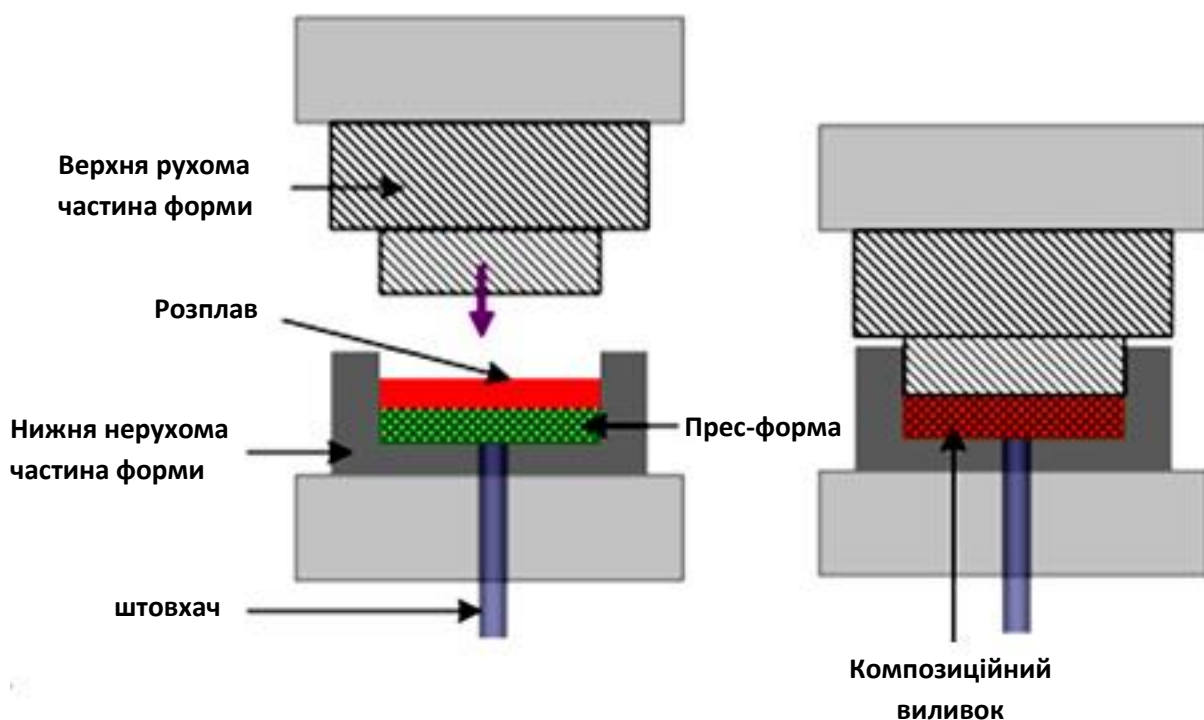


Рисунок 1.1 – Схема литва вичавлюванням [24]

Процес складається з таких технологічних операцій:

- заготовка з частинок чи волокон розміщується в нижній частині форми;
- розплав в визначеній кількості заливається в нижній шаблон до половини об'єму;

- верхній пересувний шаблон рухається вниз і змушує рідкий метал просочувати заготовку;
- просочений матеріал твердне під тиском;
- заготовка видаляється з форми за допомогою штовхача-викидача.

Цей метод використовувався для виробництва виливок простої форми (машинні поршні з алюмінієвого сплаву, що зміцнюється волокнами).

Технологією досягають:

- зниження газової пористості в виливку;
- збільшення міцності за рахунок швидкого твердіння виливка;
- покращення чистоти поверхні [24].

На практиці доведено, що можна досягти рівномірного розміщення навіть 30% частинок карбиду кремнію в алюмінієвій матриці (сплав А6061) без ливарних дефектів виливка [25]. При литті вичавлюванням композиційний матеріал і виріб з нього формуються одночасно. Метод має широкі можливості отримання складних виробів. Основні вдосконалення способу стосуються поліпшення температурного режиму просочення, поліпшення якості заповнення розплавом пустот в армованому каркасі, створення пористих зміцнюючих вставок та інш.

Великий вибір допоміжних операцій дозволяє успішно вирішувати конкретні завдання, що стоять перед технологами. Для поліпшення якості виробів з композиційних матеріалів тиск підтримується в прес-формі після закінчення просочення до затвердіння розплаву, тобто здійснюється кристалізація під тиском. В цьому випадку, матричний сплав містить менше дефектів і має підвищені механічні властивості. Для усунення газової пористості в заготовках, що просочуються використовують операцію вакуумування між заливкою і пресуванням. Застосовують також пресування в компресійної камері. Між частинками зміцнюючої вставки іноді пропонують вводити частинки з матричного сплаву для полегшення процесу просочення.

Температурні режими процесу в значній мірі визначають властивості кінцевого продукту. При їх аналізі доводиться враховувати зміну температури кожного компонента в ливарній формі і вихідних матеріалів. Так, перегрів поршня,

яким створюється пресування, може стати причиною витікання розплаву з форми по зазорам. Занадто низька температура поршня викличе зниження його рухливості. Необхідне зусилля, що додається до поршня, буде залежати від в'язкості розплаву, яка залежить від властивостей обраного сплаву і умов нагрівання. Використання роз'ємних форм з рухомими частинами, застосування вакуумування, підігріву або термоізоляції, забезпечення контролю і регулювання температури призводить до збільшення собівартості кінцевого продукту. Таким чином, лиття вичавлюванням доцільно використовувати при виготовленні деталей порівняно простої конфігурації для композиційних виробів з порівняно невисокими вимогами до точності фасонного литва [26].

Постановка завдань досліджень

- виготовити композиційні матеріали з алюмінієвою матрицею з використанням в якості армуючої фази металеві та неметалеві відходи
- дослідити ливарні властивості литих алюмоматричних композиційних матеріалів армованих продуктами рециклінгу
- дослідження взаємодії структурних складових, ливарних та фізико-механічних властивостей алюмоматричних композиційних наповнювачів з металевими та неметалевими наповнювачами.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір матриць та зміцнюючих елементів для одержання композиційних виливків

Литі композиційні матеріали (ЛКМ), крім міцності, пластичності, стійкості до зовнішніх впливів, повинні мати властивості, що дозволяють одержувати досить складні по конфігурації виливки. Тому одним з основних критеріїв вибору матеріалу для матриць ЛКМ є їхні ливарні властивості. Матричні сплави повинні добре заповнювати порожнини зміцнюючих насадок і ливарних форм, а після затвердіння забезпечувати комплекс експлуатаційних характеристик, точність розмірів і щільність виливка. У такий спосіб технологічні якості матриць більшим ступенем визначають рідино-плинність обраного сплаву. Чим вище показники рідино-плинності, тим щільніше виливок ЛКМ і краще його фізико-механічні характеристики. Рідинно-рухливий розплав краще заповнює порожнечі, пори і сприяє виділенню з розплаву газів і неметалічних включень. Для ЛКМ достатня рідинно-плинність матриці дозволяє прискорити заповнення форми і зменшити час контакту розплаву зі зміцнюючими елементами, тобто створює умови для стабілізації системи композиту.

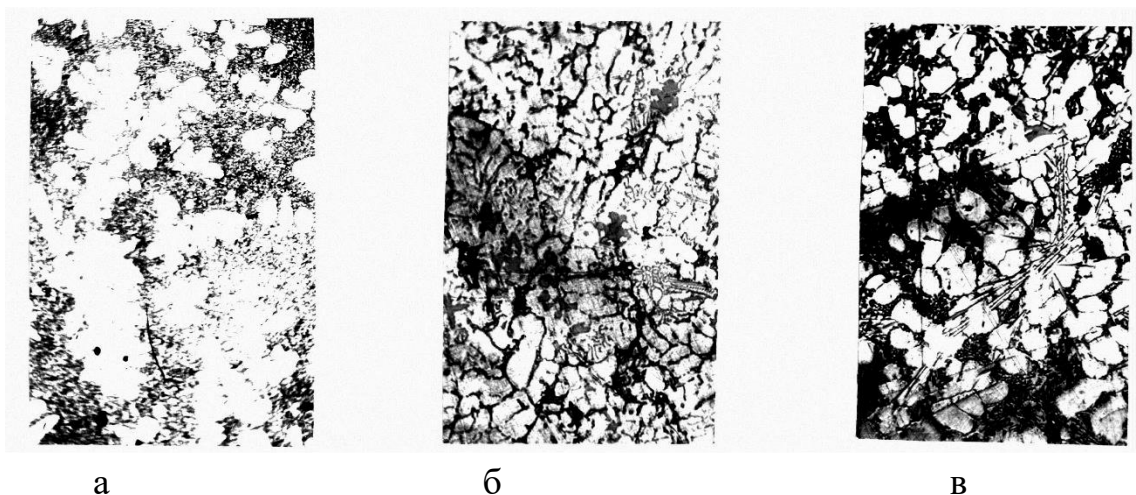
Відомо, що найкращі ливарні властивості, серед алюмінієвих сплавів, мають силуміни. Сполука сплавів використовуваних при одержанні ЛКМ представлено у табл. 2.1. Сплав АК-12 відноситься до системи Al-Si. Система Al-Si являє собою діаграму стану звичайного евтектичного типу з обмеженою розчинністю обох компонентів у твердому стані. Евтектика утворюється при 5750С, 11,7% Si. При евтектичній температурі тверді розчини Al і Si містять 1,05% Si і близько 0,5% Al відповідно.

Сплави АК5М2 та АК12М2МгН (табл. 2.1) по своїй сполуці відносяться до системи алюміній-кремній-мідь. У цій системі потрібна евтектична реакція $ж \rightarrow (Al) + Si + \theta$ має місце при 27% Cu, 5% Si і 5250С.

Основними структурними складовими сплаву АК5М2, є дендрити алюмінієвого твердого розчину й голчаста евтектика (рис. 2.1-б). Основою

евтектичної складової є алюмінієво-кремнієва евтектика. Крім того, у структурі сплаву присутні залізовмісні фази (β) і фаза CuAl_2 , а також компактні складні інтерметалідні утворення. Якщо вміст заліза значно перевищує 0,8% і наближається до верхньої границі, кількість кристалів β -фази збільшується і евтектичну складову розглядають як потрійну евтектику $\beta + \text{Si} + (\text{Al})$.

Структура сплаву АК12М2Мгн, складається з дендритів алюмінієвого твердого розчину (Al) і алюмінієво-кремнієвої евтектики $\text{Si} + \text{Al}_\alpha$. (рис. 2.1 в). В середині колоній основної евтектики, присутні дрібні зерна інтерметалідних евтектик з диференційованою структурою. Серед них найчастіше зустрічаються евтектики, які містять магній, мідь, нікель, залізо - елементи, які є основними компонентами сплаву. Залежно від вмісту Cu і Ni можливе утворення θ -фази, або мідно-нікелевої фази.



а

б

в

а – сплав АК-12; б – АК5М2; в – АК12М2МгН.

Рисунок 2.1 – Мікроструктура вихідного алюмінієвого сплаву

Таблиця 2.1 – Сполука алюмінієвих сплавів, які були використані при одержанні литих композиційних матеріалів

Сплав	Масова частка, %								
	Si	Mg	Cu	Fe	Ti	Mn	Zn	Ni	Al
AK-12	10,5-11,4	0,025	0,014	0,17-0,25	0,012	0,025	—	—	зал.
AK5M2	4,17-6,46	0,16- 0,63	1,64-2,16	0,8-1,61	0,04-0,08	0,19-0,30	0,4- 1,0	0,1- 0,3	зал.
AK12M2 MgH	11,1	0,51	1,68-2,46	0,84-1,18	0,081	0,22-0,37	0,25	0,8- 1,0	зал.

Перспективними матеріалами для використання в якості зміцнюючих елементів, при одержанні литих композитів на алюмінієвій основі, можуть бути відходи деяких виробництв, які мають оксидну природу. Це шлаки, золи, пилоуноси. Вони мають із погляду зміцнюючих елементів, важливі фізико-хімічні властивості: високу твердість, структурну й термічну стабільність, хімічну стійкість, практично не змінюють своїх властивостей при робочих температурах, жароміцність і мають близьку до рідкого алюмінію щільність. Такі матеріали недорогі й недефіцитні, що дозволяє зробити ЛКМ доступними для масового машинобудування.

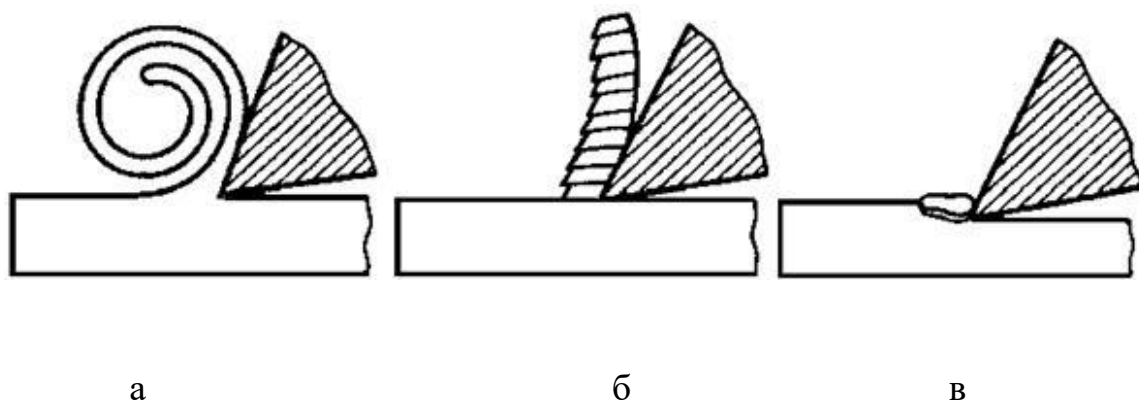
Окрім неметалічних відходів вельми актуальним є питання використання для виробництва композитів продуктів рецеклінгу металічного походження. Відходи кольорових металів утворюються при їхній механічній обробці, у металургійних процесах, при нанесенні захисних покриттів і т. д. При розливанні металу, наприклад, утворюються відходи у вигляді великих бризів, сплесків, зйомів. При обробці злитків на прокатних станах, пресах, молотах виходять відходи у вигляді крайок, обрізків, висічки. У результаті механічної обробки напівфабрикатів значна частина металу переходить у стружку, обріз, відходи штамповки. Крім того

актуальною стає проблема утилізації композиційних матеріалів, які виробляються вже в промислових масштабах. Наприклад композити мідний сплав-матриця користуються великим попитом у металургійних, машинообробних, та підприємствах інших галузей, де є потреба в антифрикційних матеріалах. Але проблема утилізації композитів не вирішена. Такі матеріали не можна просто переплавити, а вони мають в своєму складі 50-60 % кошовних та дефіцитних мідних сплавів.

Потрібно вирізняти металеві зміцнюючі елементи по реакційній взаємодії з матричним металом:

- зміцнюючі елементи не реагують і не розчиняються в матрицях;
- зміцнюючі елементи не реагують, але розчиняються в матрицях;
- зміцнюючі елементи реагують з матрицями з утворенням нових хімічних сполук та інтерметалідів [3].

Найбільш перспективними ми вважаємо композити зі зміцнюючими елементами третьої групи. В результаті реакцій взаємодії ми одержуємо нові in-situ композити, армовані фазами, що утворились за рахунок сильної (хемосорбція), що супроводжується хімічними реакціями на поверхні твердої фази, або слабкої взаємодії (адсорбція). Проміжний атомний шар з продуктів взаємодії зв'язує тверду й рідку фази та зумовлює властивості нового композиційного матеріалу. З ростом температури збільшується рухливість атомів, що сприяє інтенсифікації взаємодії фаз і зміцненню зв'язків, що утворилися. Важливим фактором є також температуро-тимчасові параметри, що визначають за інших рівних умов, ступінь проходження взаємодії на границях твердої зміцнюючі елементи - рідкий матричний сплав. Сам процес консолідації, в великий мірі за рахунок додаткових зовнішніх впливів (тиск, відцентрова сила, перемішування тощо), інтенсифікує обмінні дифузійні процеси.



а - зливальна (кручена); б - сколювання; в - надламу

Рисунок 2.2 – Типи стружок при обробці різанням



а

б

в

а - кручена бронзова стружка (8-10 мм); б - суміш стружок сколювання й надламу (3-5 мм); в - частинки утворені при механічній обробці електродного графіту (0,5-1,0 мм)

Рисунок 2.3 – Частинки зміцнюючого матеріалу

Відповідно до напрямків і об'єктів дослідження у якості зміцнюючих елементів використовували стружку, отриману в результаті механічної обробки бронзи БрОЦС 6-6-3, що містить (усереднено) (мас. %): 5,05 Sn; 7,2 Zn; 3,4 Pb.

При різанні різних матеріалів утворюються наступні основні типи стружок: зливальна (кручена), сколювання (елементна) і надламу (рис. 2.2)

Для експерименту були обрані частинки трьох видів: у формі витків і голчастої форми, рівноосні частинки графіту в якості твердого змащування (рис. 2.3).

У якості зміцнюючої фази використані також дискретні частинки іншого композиційного матеріалу, отримані в результаті рециклінга виробів. Зміцнюючі

частинки були продуктом механічної обробки (дроблення) деталі з литого композита на основі бронзи й сталевих гранул (рис. 2.4).

Перспективним вбачається використання сталюї стружки та дробу в якості гібридних in-situ та ex-situ зміцнюючих елементів. За рахунок вибору термо-часових параметрів необхідно досягнути армування за рахунок реакцій з матричним розплавом, уникаючи повного розплавлення частинок наповнювача.

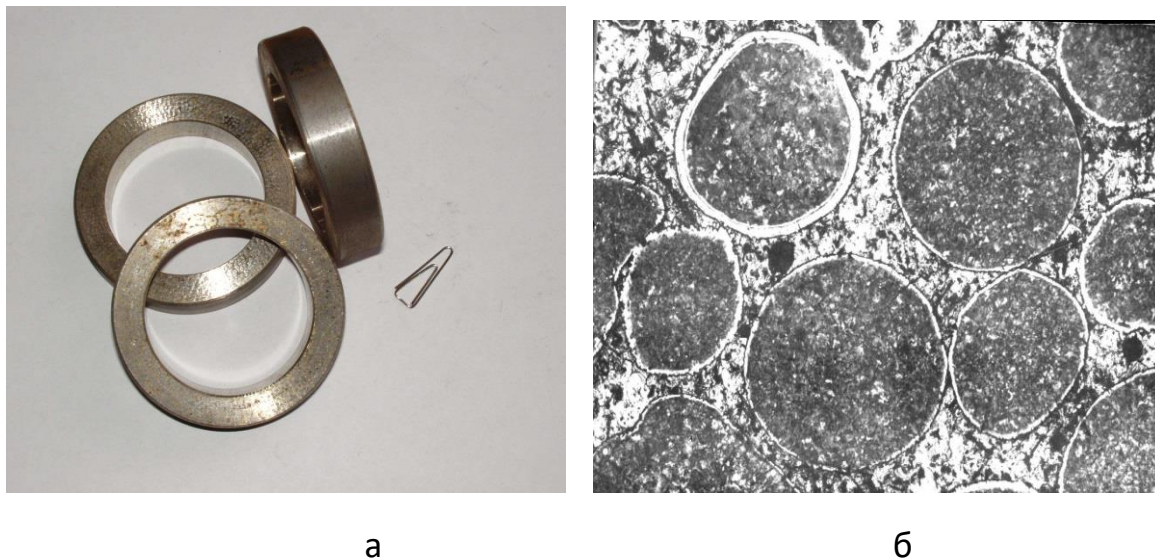


Рисунок 2.4 – Композити системи мідний сплав-сталь:

а - вироби, б - мікроструктура

2.2 Технологія заливання гетерофазного розплаву, який виготовлено за допомогою механічного замішування зміцнюючих елементів

Технологічний процес виготовлення литих КМ із металевою матрицею, армованих дискретними наповнювачами повинен забезпечувати: рівномірний або заданий розподіл наповнювача в об'ємі матеріалу матриці; зв'язок зміцнюючого наповнювача з матрицею; можливість контролю процесів міжфазної взаємодії і можливість застосування в технології лиття нових нано-розмірних модифікаторів структури. Одним з методів, що дозволяють вирішити дані завдання, є механічне замішування дискретного наповнювача в розплав [27-30]. Перевагою даного методу є можливість варіювати в широких межах температуро-часові параметри

сполучення та склад компонентів. Виходячи із цього, даний метод досить зручний для моделювання технологічних операцій сполучення компонентів у лабораторних умовах. З іншого боку, не представляє великих труднощів адаптувати процес замішування до умов промислового виробництва, оскільки відпадає необхідність в устаткуванні, що вимагає значних виробничих площ. Великий практичний інтерес може представляти так само можливість одержання литих композиційних заготовок для наступних процесів відцентрового лиття або обробки тиском на відповідному заводському устаткуванні.

В роботі було одержано наступні варіанти з допомогою механічного замішування:

- замішування вручну;
- механічне замішування в алюмінієвий розплав часток дискретних наповнювачів продуктів рециклінгу металічних і неметалічних деталей;
- механічне замішування в розплав; реакційно-активних елементів (продукти металообробки деталей із кольорових чи чорних сплавів, або композитів), що додаються в матричний розплав для формування in-situ зміцнюючих інтерметалідних фаз.

Для механічного замішування застосовували установку [31], принципова; схема якої представлена на рис. 2.5.: До складу установки входять наступні вузли:

- вертикальна муфельна- піч опору з регульованою робочою температурою до 1000° C;
- тигель діаметром 120 мм і висотою 200 мм. Обсяг тигля дозволяє плавити до 1500 г металу;
- пристрій для введення (замішування) порошків у розплав, що складається з: електродвигуна із плавно регульованою частотою обертання від 10 до 1000 об/хв; лопатковий замішувач (імPELLер), з'єднаного з валом електродвигуна; станини із тримачем, за допомогою якого здійснюється введення замішувача в розплав і регулювання положення замішувача по глибині в розплаві й положення щодо центра тигля. За допомогою тримача так само здійснюється видалення

електродвигуна із замішувачем з надгрубного простору з метою вільного маніпулювання з тиглем при розливанні розплавленого металу в ливарні виливниці;

- тахометр для виміру й контролю частоти обертання замішувача;
- віброзапитувач, що служить для подачі порошоків у зону замішування.

Віброзапитувач забезпечує швидкість подачі порошоків у діапазоні 5-100 г/хв. Швидкість подачі регулюється за рахунок зміни діаметра вихідного отвору й амплітуди коливання;

- лабораторні автотрансформатори для зміни живлячої напруги печі, електродвигуна й а;

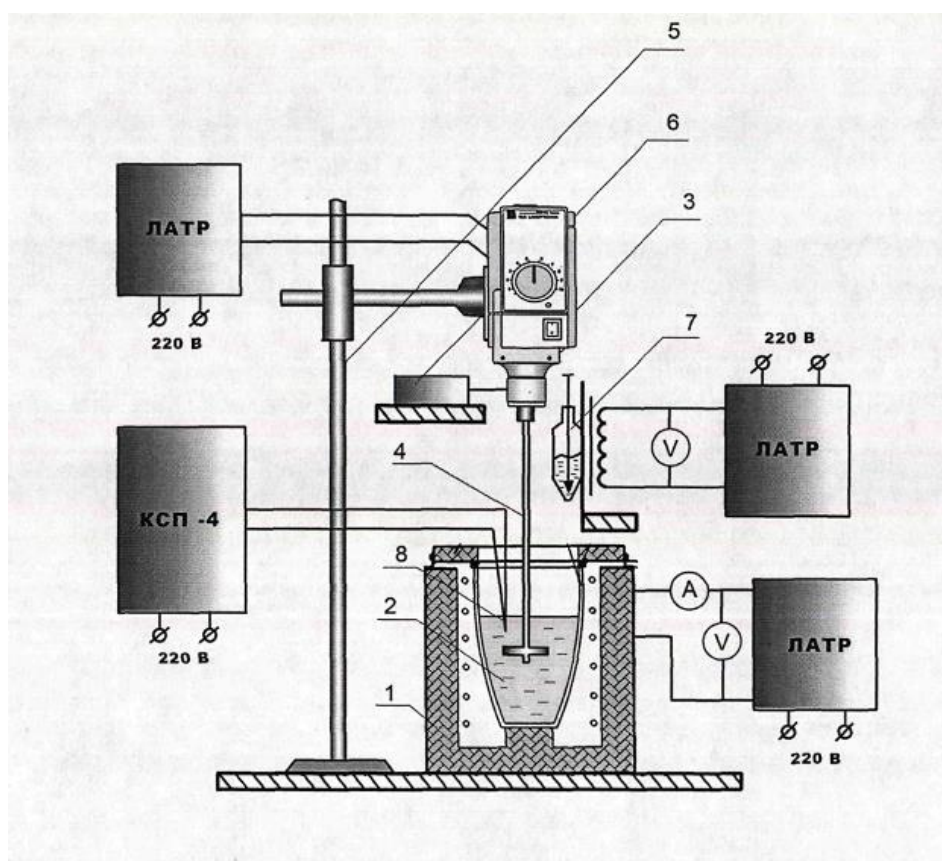
хромель-алюмелева- термопара, з'єднана з електронним автоматичним потенціометром КСП-4, для реєстрації температури розплаву. Спай термопари поміщений у захисний кожух і перебуває під дзеркалом розплаву.

Установка комплектується розбірними графітовими виливницями діаметром 30 мм і висотою 120 мм.

Дана установка дозволяє в широких межах варіювати умови експерименту по замішуванню наповнювачів у розплав.

При проведенні експериментів змінювали умови замішування часток, час процесу замішування та характер введення зміцнюючих елементів в матрицю алюмінієвого сплаву, конфігурацію тигля. Наприклад, частинки вводили безпосередньо в розплав, після чого перемішували суспензію, що утворилася, або клали порошок зміцнюючих елементів на дно тигля, зверху алюміній і після його розплавлення проводили замішування частинок в розплав, що утворився. Одним із варіантів введення зміцнюючої фази була засипка долями в розплав суміші часток з алюмінієвою пудрою, або таблетованої суміші.

Було проведено оцінку кількості зміцнюючих елементів в залежності від умов їхнього одержання. Результати наведено в таблиці 2.1.



1-піч опору, 2-тигель із розплавом, 3-електронна верхнеприводна мішалка RW16, 4 -лопатний змішувач(імпеллер), 5 -тримач 6- тахометр, 7- віброзапитувач, 8-термопара, з'єднана з електронним автоматичним потенціометром

Рисунок 2.5 – Принципова схема установки для механічного змішування дискретного зміцнюючого наповнювача в розплав

Таблиця 2.2 – Залежність кількості зміцнюючих елементів в композитах в залежності від умов їх виробництва

№ зр.	Матеріал	Розмір частинок, мкм	Введена кількість %	Спосіб введення	Спосіб замішування	Встановле-на кількість частинок в КМ, об %
61	Шамот	10-100	10	на дзеркало розплаву	механічне 30 хв.	до 7
63	Шамот	10-100	15	на дзеркало розплаву	вручну	1-5
66	Шамот	10-30	15	на дно тигля з слідуючим замішуванн ям	механічне 30 хв	до 3

З наведених даних ми бачимо, що засипка на дзеркало з послідуочим перемішуванням більш краща, ніж укладка частинок на дно тигля, засвоєння частинок більше в 3-4 рази. Проведені експерименти показали, що кількісний склад зміцнюючих елементів в композиті залежить від типу порошків, що застосовано. (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Вплив якісного складу зміцнюючої фази на її кількість в литому композиті

№п/п	Сполука	Введена кількість частинок, ваг%	Виявлена в КМ кількість частинок, об %
1.	Карбід кремнію	5	до 1
2.	Корунд	5	до 1
3.	Шлак	5	1-2
4.	Пилоунос	5	до 3
5.	Шамот	5	5

Встановлено, що краще за інші засвоюються частинки шамоту та пилоуносу.

Для покращення ступеню розподілу і підвищення адгезії частинок до металу, порошки обробляли флюсами та піддавали дезінтеграційному помелу. Порівняльний аналіз одержаних КМ показав, що відсутній істотний вплив якісного складу флюсу, що застосовуваний на кількість доданої в алюміній неметалічної фази. Однак, вплив флюсів виражається у тім, що частинки менш злипаються і групуються. Особливо при використанні флюсу складного складу (NaCl, NaF, KCl, Na₃AlF₆). Тому в такому композиційному матеріалі ми бачимо більш рівномірний розподіл частинок в порівнянні із зразком, одержаним в ідентичних умовах, але при використанні каменелитого матеріалу, не обробленого флюсом. Навіть при перемішуванні вручну кількість частинок в матриці складає 2-3%, як при механічному замішуванні. (табл. 2.4.)

Таблиця 2.4. Вплив обробки частинок каменелитого матеріалу флюсами на характер їх замішування в алюмінієвий сплав

№ зразка	Кількість ведених частинок, ваг%	Умови замішування	Розмір частинок, мкм	Кількість часток в КМ, об %	Склад флюсу
55	10	Вручну	10-30	2-3	KCl
56	10	Механічне	10-30	2-3	KCl
57	10	Механічне	10-30	2-3	NaCl+NaF+ KCl+Na ₃ AlF ₆

Проте, незважаючи на використані технологічні прийоми, зустрічаються місця з нерівномірним розподілом частинок кам'яного литва (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Скупчення частинок каменелитого матеріалу в матриці сплаву АК5М2 (х 220)

Більший вплив надає дезінтеграційна обробка використаних порошків. При використанні оброблених часток в ідентичних умовах кількість зміцнюючих елементів в одержаних композитах підвищується (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Вплив дезінтеграційної обробки порошку каменелитого матеріалу на кількість присутньої в композиті зміцнюючої фази.(матриця сплав АК-12)

№ п/п	Кількість ведених частинок, ваг%	Умови замішування	Розмір частинок, мкм	Обробка	Кількість часток в КМ, об %
51	10	Механічне	50-500	не оброб.	1-3
53	10	Механічне	50-500	оброб,	до 5

При дезінтеграційній обробці порошків каменелитого матеріалу підвищується ступінь рівномірності розподілу часток в матриці алюмінієвого сплаву. Експериментально встановлено, що на ступінь засвоєння алюмінієвим сплавом неметалевих часток надає їх попередній нагрів до температури плавлення метала.

Змінюється ступінь засвоєння неметалевої зміцнюючої фази при використанні сплавів різноманітного складу. Це явище ми відслідковуємо в кожній серії експериментів з порошками всіх випробуваних матеріалів. Наприклад, ступінь засвоєння золуносплавом АК-12 складає 20-30%, а сплавом АК5М2 досягає 50-60 % від кількості введеної зміцнюючої фази. При введенні частинок каменелитого матеріалу в у ті ж самі сплави ступінь засвоєння їх матрицею підвищується з 10-12% до 30-50%. Порівнюючи склади використаних алюмінієвих сплавів можна з упевненістю сказати, що зміна ступеню засвоєння частинок пов'язано з покращенням змочуємості за рахунок підвищення в АК5М2 і АК12М2МгН вмісту таких елементів, як Mg та Cu в порівнянні з АК-12.

2.3 Відцентрове литво, як ефективний спосіб одержання екзо- та ендогенних композитів з матрицями з алюмінієвих сплавів

Відцентрове литво – унікальний спосіб створення заготовок деталей із шаруватою градієнтною структурою, у яких за рахунок спрямованого осадження часток у рідкометалічній суспензії можуть бути організовані поверхневі зони (шари) з підвищеною концентрацією зміцнюючих часток [32-34]. Одержання композитів методом відцентрового лиття з горизонтальною віссю обертання дає можливість одержувати заготівлі з диференційованим розподілом зміцнюючих елементів по перетину виливка, завдяки одночасному заповненню металом форми по всій довжині виливка і відсутності осідання часток. Отримані деталі мають армовану зовнішню або внутрішню поверхню (зону), залежно від співвідношення щільності часток і матричного сплаву [35-40].

Введені in-vitro зміцнюючі частинки, що мають щільність більшу, ніж матричний розплав за рахунок відцентрових, сил переміщуються до зовнішньої стінки обертової виливниці, формуючи шари з підвищеною концентрацією зміцнюючої фази.

2.4 Литі композити на основі алюмінієвих сплавів армовані мідносплавною стружкою, які виготовлено за допомогою додаткових впливів

Відповідно до напрямків і об'єктів цього дослідження в ЛКМ, як матрицю використовували широко застосовуваний у промисловості алюмінієвий сплав марки АК12М2МгН, що містить (мас. %): 0,81 Mg; 11,23 Si; 0,85 Fe; 1,61 Cu; 0,8 Ni; 0,454 Zn. У якості зміцнюючого елемента - стружку, отриману в результаті механічної обробки бронзи БрОЦС 6-6-3, що містить (усереднено) (мас. %): 5,05 Sn; 7,2 Zn; 3,4 Pb. Стружка мала такі розміри: товщина 0,1-0,2 мм; ширина 4-5 мм; довжина 6-10 мм. Дослідні зразки заливали в графітові форми діаметром 50 мм і висотою 45 мм. Об'ємна й масова частка бронзової стружки БрОЦС 6-6-3 і матричного сплаву АК12М2МгН наведена в таблиці 2.1. Хімічну неоднорідність ЛКМ досліджували на растровому електронному мікроскопі з мікроаналізатором, що дозволяє визначати зміст елементів на площі діаметром 3 і глибиною 3 мкм з погрешністю 0,1 мас.частки %. Оскільки фізико-хімічна взаємодія фаз найбільш інтенсивно протікає в процесі рідко-твердого контакту, було прийнято, що дифузійний массообмен в основному відбувається в період від моменту заливання до кінця затвердіння. Час рідко-твердого контакту був визначений у результаті дослідження затвердіння зразків ЛКМ, армованих різною кількістю стружки.

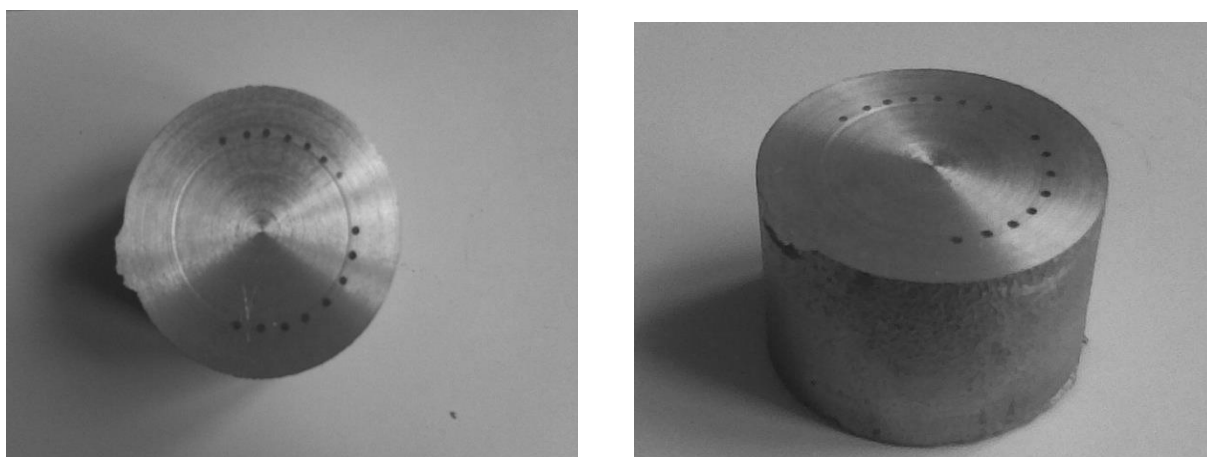


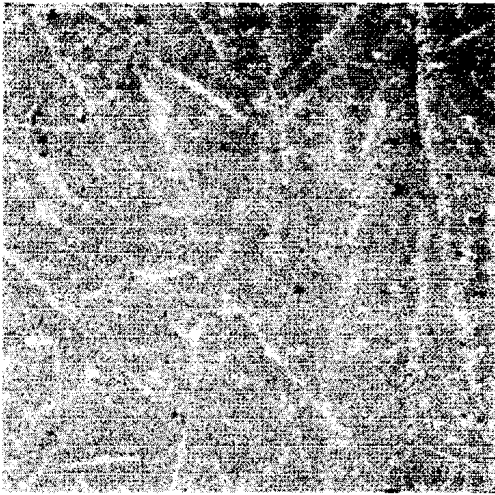
Рисунок 2.7 – Виливки з силуміну зміцнені стальним дротом

В умовах експерименту час контакту рідкої та твердої фази змінювалося від 330 с при 8,66 мас. частки %, стружки до 370 с при введенні 16,13 % стружки (Таблиця 2.6).

Перш ніж перейти до обговорення результатів необхідно відзначити, що визначення змісту елементів проведено в дискретних точках, не розташованих на одній прямій. Тому отримані дані не дозволяють визначити їхню безперервну зміну в структурі то здійснити 100% баланс змісту цих елементів в окремих структурних складових і прикордонних зонах. Є окремі випадки по змісту елементів, однак підсумовуючи отримані результати можна в цілому з достатнім ступенем вірогідності описати картину дифузійної взаємодії фаз у системі алюмінієвий сплав - стружка бронзи.

Таблиця 2.6 Об'ємна та масова частка бронзової стружки БрОЦС 6-6-3 і матричного сплаву АК12М2МгН

№ зразка	Маса матриці, г	Маса стружки, г	Об'ємна частка стружки в ЛКМ, %	Масова частка стружки в ЛКМ, %
1-120	207	0	0	0
2-128	210	10	0,148	4,55
3-123	211	20	0,294	8,66
4-125	210	40	0,588	16,00
5-124	208	40	0,594	16,13
6-129	200	40	0,618	16,70
7-126	210	80	1,169	27,60
8-127	205	80	1,20	28,10



4

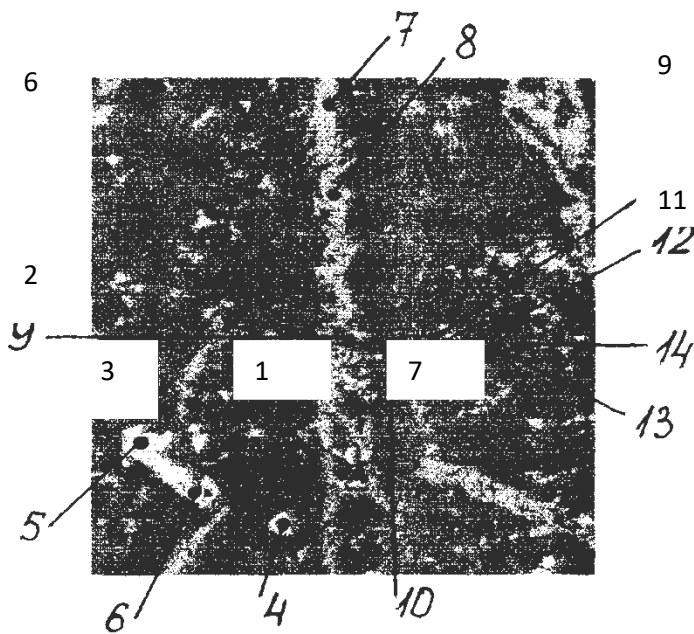


5

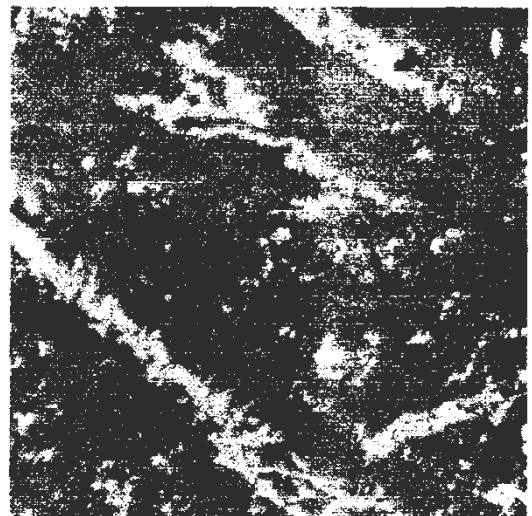
X 60

8

X 250



X 250



X 250

Рисунок 2.8 - Мікроструктура матричного алюмінієвого сплаву (зразок 120) с вказівкою точок вимірювання хімічного складу

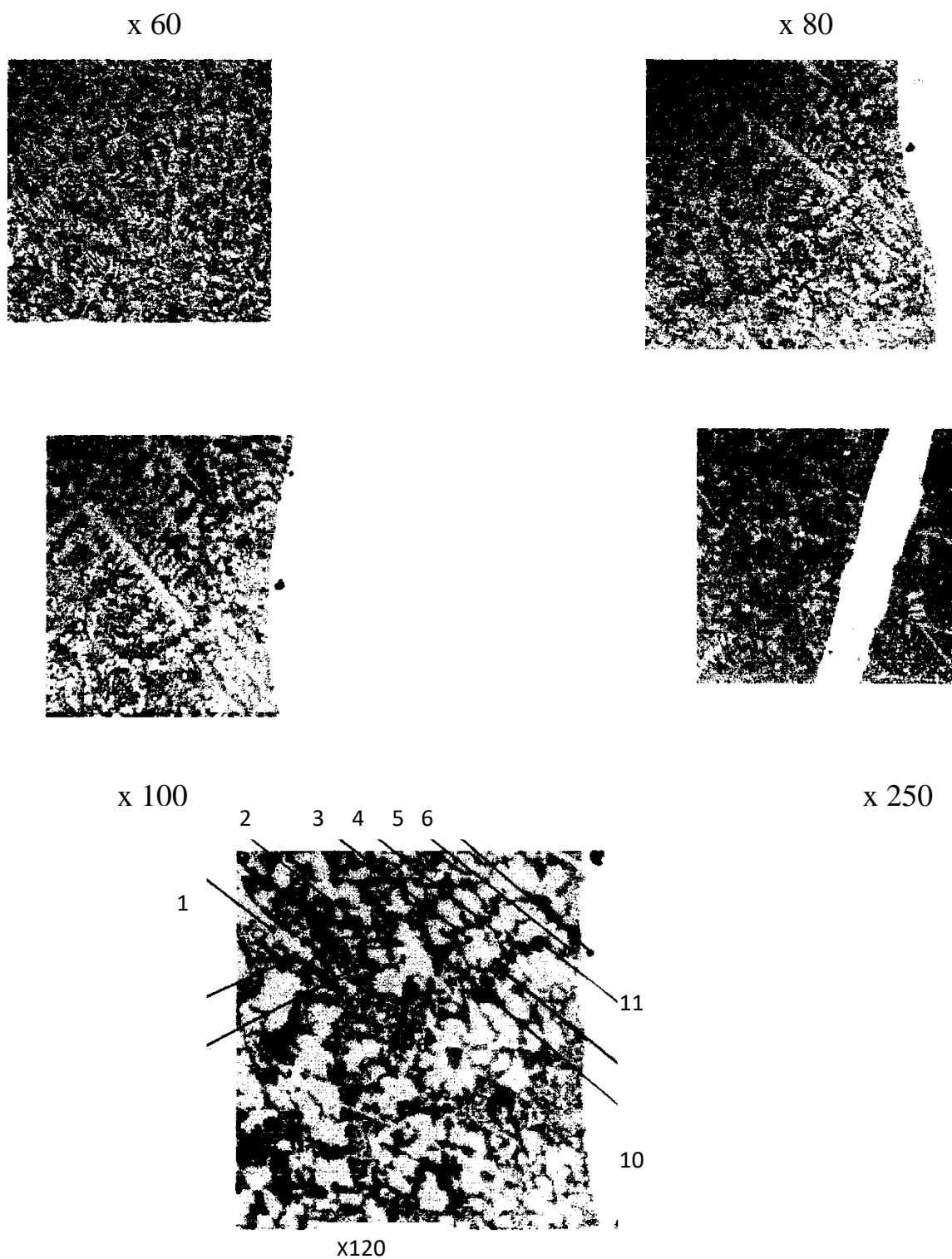


Рисунок 2.9 – Мікроструктура ЛКМ з алюмінієвою матрицею, зміцненою 1,2 об. % (80% масс.) бронзової стружки. (зразок 126).

На рис. 2.8 представлена структура матричного алюмінієвого сплаву й зазначені точки визначення змісту хімічних елементів. Евтектичні сплави системи Al-Si, що містять легуючі добавки Cu, Ni, Zn, Fe та ін., маючи гарні ливарні властивості, відрізняються більш високою жароміцністю, тому що містять 0,8-1,3%Ni, що утворює складні фази у вигляді твердого каркаса. До складу кристалітів також входять до 30-40%Fe; 3-5%Cu; 10-12%Si; 3-4%Mn. Встановлено, що в цьому випадку можуть утворитися фази Al_7Cu_2Fe ; $AlCuFeSi$ і потрібна евтектика $\alpha+Si+AlCu_2$. Основа сплаву містить Al (до 90%), Si (до 10-12%); Cu (близько 5%); Zn (близько 3%) і практично не містить Fe; Ni; Mn.

Виявлено, збагачення прикордонної з армуючою фазою (бронзовою струшкою) зони (0-75мкм) міддю. Має місце кореляція з кількістю арматуризування зі збільшенням кількості стружки. При 80% мас., встановлене утворення фази типу $CuAl_2$ на основі міді за участю Al. Алюміній з матриці дифундує в бронзу, про що зокрема, свідчить утворення навколо армирующей фази, зони збідненої Al. Цей процес також інтенсифікується зі збільшенням кількості бронзової стружки. Імовірно, Fe входить у складну фазу на основі міді, тому що в матриці (міждендритні ділянки) зміст Fe невеликий до 0,5 (іноді до 1%). Підвищення концентрації, неоднорідності Fe, зміст якого в промислових сплавах становить звичайно 0,4-0,5% небажано. Fe у сплавах Al-Si утворює крихку сполуку $\beta(AlFeSi)$ яка різко знижує пластичність матеріалу.

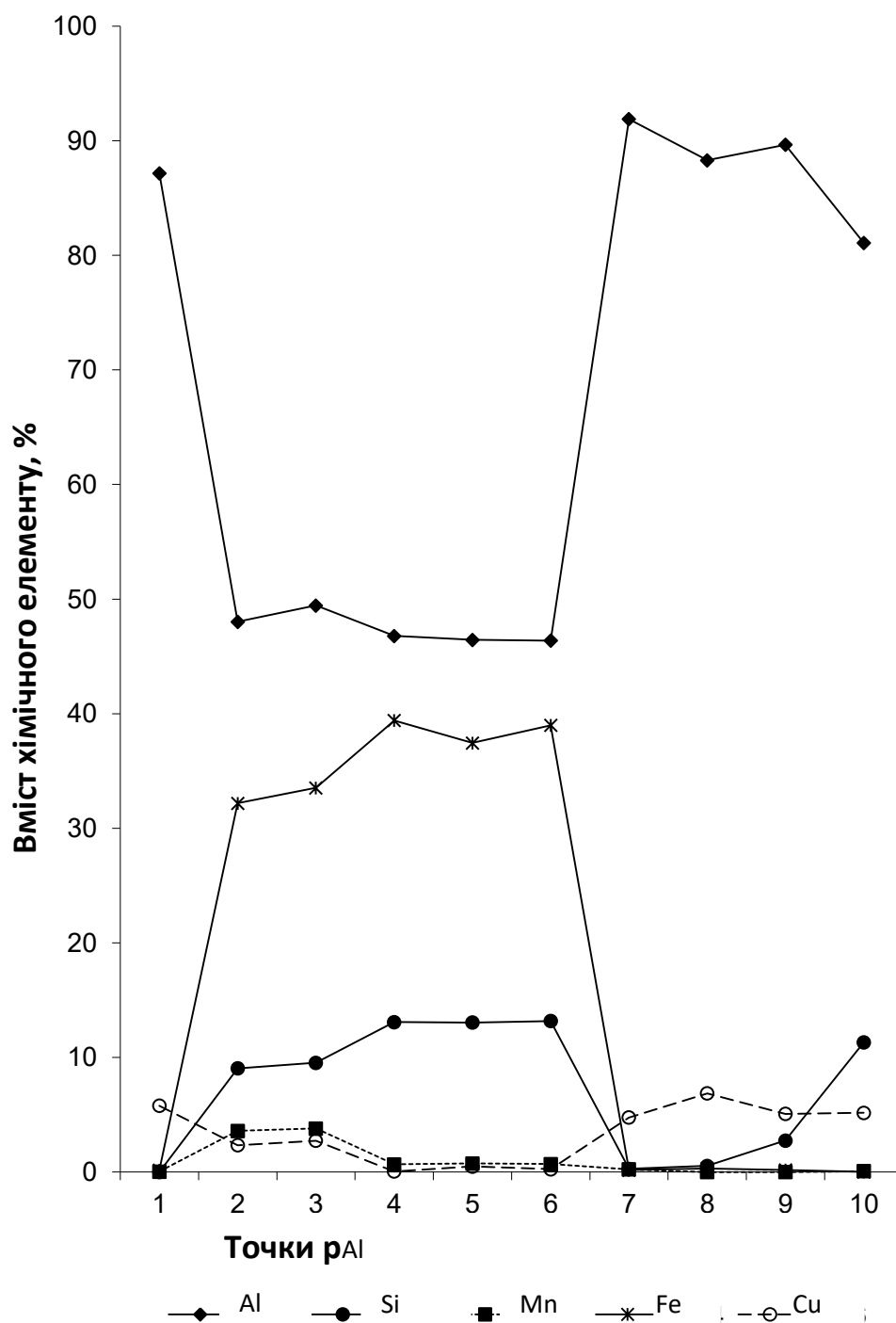


Рисунок 2.10 – Розподіл елементів (Al, Si, Mn, Fe, Cu) в структурі матричного алюмінієвого сплаву (зразок120)

Кремній поводить ся неоднозначно: у дендритах (кристалітах) мідистої фази зміст кремнію невеликий. У матриці (междендритном просторі) до 10-12% (як у вихідному матричному сплаві). Однак відзначаються коливання по кремнію, що ймовірно пов'язане з утворенням комплексних фаз, у які входить кремній типу: $Al_xMg_5Cu_4Si_4$, $AlCuFeSi$. Zn, Pb і Sn дифундують у матрицю з армуючого елементу БрОЦС. Звичайно їхній зміст від вихідного знижується в прикордонній зоні (50-200 мкм) і потім змінюється мало. Деякі коливання зв'язані, імовірно, з утворенням комплексних включень. Ni і Mn утримуються в невеликій кількості і не показують більших коливань.

Описані вище закономірності зміни змісту елементів у матричному алюмінієвому сплаві в процесі рідко-твердої консолідації ЛКМ однозначно підтверджуються даними, отриманими для зміцнюючої фази - бронзової стружки (Рис.2.10). Відзначемо дифузію Al(до 6%) і заліза (до 2,4-2,6%) з матриці. Si, Mn, Ni - поводяться індиферентно: їхній зміст в об'ємі зміцнюючої фази не змінюється. Зміст Zn, Sn, Pb у центрі зміцнюючої вставки залишається практично незмінним, але із часом знижується в поверхневих шарах стружки, що говорить про дифузію цих елементів у матрицю.

Проведені дослідження показали, що в процесі формування ЛКМ системи алюмінієвий сплав - бронза в матричному сплаві спостерігається збільшення змісту міді, утворення складних комплексних фаз на основі міді й алюмінію, сегрегація заліза та ін. елементів. Звідси треба висновок про можливість і необхідність підвищення властивостей ЛКМ за рахунок термічної обробки, що для матричного алюмінієвого сплаву заснована на зміні розчинності сполуки $CuAl_2$ в алюмінії. Максимальний ефект зміцнення матричного алюмінієвого сплаву досягається при змісті Cu в Al близько 6%, що відповідає межі розчинності Cu в Al і виявлене в ЛКМ при змісті стружки від 40%.

Висновки до розділу 2

Розроблено та вдосконалено існуючі ефективні ливарні технології консолідації компонентів ендегенних та екзогенних алюмоматричних композиційних матеріалів із застосуванням додаткових впливів та відходів моно-металів, композиційних та неметалевих деталей. Це такі технологічні процеси: механічне замішування *ex-situ* або реакційно активних частинок (*in-situ*) та технологія відцентрового литва.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ, ЛИВАРНИХ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИТІВ З МЕТАЛЕВИМИ ТА НЕМЕТАЛЕВИМИ АРМУЮЧИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ

3.1 Ливарні властивості алюмоматричних композиційних матеріалів та вплив на них зміцнюючих частинок

Обов'язковою складовою створення технологічних режимів для ливарних матеріалів є їх ливарні властивості, серед яких провідне місце займає рідинноплинність. Дослідження цієї характеристики матеріалу становить велике значення з практичної точки зору та є складним у методологічному плані. Рідинноплинність сплавів завжди носить відносний характер, і при її дослідженні абсолютна величина головного вимірюваного параметра – довжини заповненої частини проби, істотно залежить від умов лиття.

Рідинноплинність це інтегральний показник властивостей рідкого матеріалу, обумовлених його складовими. Ливарні характеристики композиційного матеріалу головним чином визначаються матричним сплавом та композиційної складової в вигляді твердих частинок, та впливає відповідно їх типу розмірів і кількості. Найбільш високі ливарні властивості серед алюмінієвих сплавів мають сплави системи алюміній-кремній, що володіють високою рідинноплинністю та відносно низькою усадкою. Сплави на основі системи Al-Cu та Al-Si-Cu мають гірші ливарні властивості та схильні до утворення усадочних тріщин. Сплави системи Al-Mg мають підвищені механічні властивості та знижену рідинноплинність. Багатокомпонентні сплави на основі алюмінію зазвичай мають високу рухливість розплаву тому виготовлення з них виробів ливарними методами технологічно виправдано.

Рідинноплинність, визначається за довжиною відлитого стовпчика зразків стандартизованих проб при інших рівних умовах заливки. Вивчення ливарних властивостей з використанням комплексної проби Нехендзи-Купцова дозволяє

просто і з високим ступенем достовірності визначати лінійну усадку різних сплавів і їх стійкість до утворення тріщин. Залежність експериментальних даних від умов постановки експерименту мало відчутна.

Дослідження рідинноплинності, що передбачає використання комплексної U-подібної проби Нехендзі-Купцова [41], що представляє собою удосконалену форму Нехендзи-Самарина [42], дозволяє одночасно дослідити ливарні властивості: об'ємну усадку та тріщиностійкість. Переваги такої методики очевидні: заливання однієї проби дозволяє одержати дані, що характеризують комплекс найбільш важливих ливарних властивостей досліджуваного сплаву (рис. 3.1). Методику Нехендзі-Купцова можна вважати задовільною для порівняння рідинноплинності сплавів, що мають близькі теплофізичні характеристики, тобто є репрезентативною для порівняння матеріалів з матричними сплавами однієї групи.

Додавання частинок в розплав вносить вагомий вплив на технологічні ливарні характеристики. Характеристики рідинноплинності встановлювали за допомогою ливарної форми Нехендзі-Купцова. За методикою Нехендзи-Купцова, комплексна проба заливається в металеву роз'ємну за вертикальною площиною форму. Для забезпечення стабільних гідродинамічних умов заповнення форми передбачене використання діафрагм різного діаметра, а також фольги, відповідної сплаву, що заливається, яка укладається на дно заливальної воронки. З метою створення більш сприятливого теплового режиму в заливальній воронці можуть бути застосовані теплоізоляційні вставки з формувальної суміші або кераміки. Створені в такий спосіб умови при постановці експерименту по визначенню ливарних характеристик забезпечують стабілізацію температури, конфігурації і матеріалу форми, напору металу і контроль його температури. Методика дає цілком задовільні результати при визначенні лінійної й об'ємної усадки, а також стійкості сплавів до утворення тріщин.

Розплав з додаванням лігатури з екзогенними частинками заливали в чавунну нефарбовану форму, у якості діафрагми використовувалися чавунні шайби з зовнішнім діаметром 36 мм і висотою 5 мм. Внутрішній діаметр діафрагми 12 мм, товщина алюмінієвої фольги складала 0,05 мм. Відповідно до методики Нехендзі-

Купцова контроль температури металу здійснюється в заливальній воронці (у стабілізованих умовах автори допускають контроль температури не в заливальній воронці, а в ковші, або навіть у тиглі печі перед заливанням) [20]. Перед заливанням металу у форму в заливальну чашу встановлювали азбестову воронку, що відповідала по конфігурації заливальній чаші. Чавунна нефарбована форма після збирання фіксувалася чотирма болтами; температура форми становила $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (нормальні умови). Порція розплавленого металу масою 350 г заливалася в воронку протягом 2-3 с. Контроль температури на стояку здійснювався хромель-алюмелевою термопарою.

Введення лігатурним методом екзогенних частинок виконували в двостадійному процесі, на першому етапі виготовляли литу лігатуру з вмістом частинок зміцнювача до 30 об. %. Така «лігатура» виготовляється в твердорідкому стані між температурами солідус і ліквідус сплаву. Після замішування при температурі близькій до температури солідус лігатура підпресовувалася стальним пуансоном при навантаженні до 20 МПа, що надавало їй циліндричної форми. Потім цей концентрат додавали при плавці в шихту, знижуючи за рахунок матриці об'ємну частку частинок до 3-6 об. %. Цей метод дозволив одержувати МКМ з рівномірним розподілом екзогенних частинок та їх задовільною адгезією до силумінової матриці. Результати дослідження представлено в табл. 3.1 і на рис. 3.2.

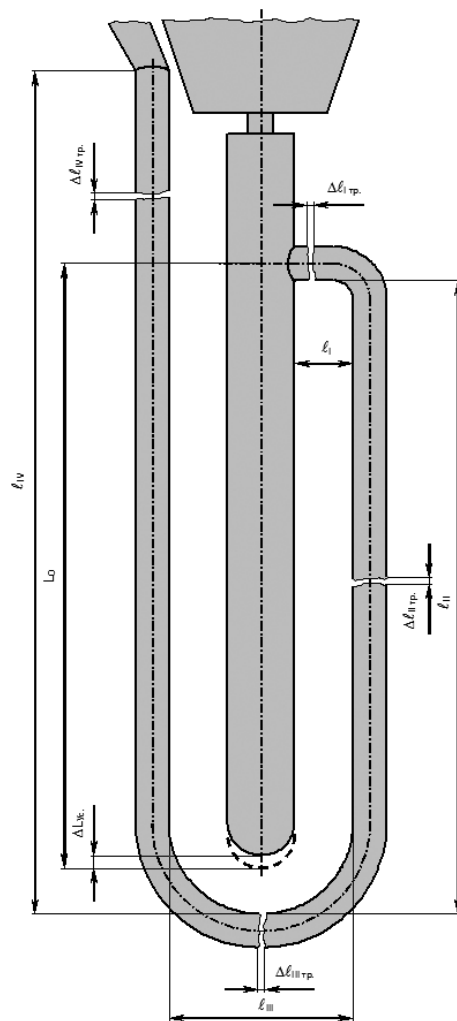


Рисунок 3.1 – Схема проби Нехендзі-Купцова та її параметри для визначення ливарних властивостей [74]

Таблиця 3.1 – Лінійна усадка і ступінь ураження тріщинами сплавів АК 7, АК 12 і АЛ 25

Сплав	№ зр.	Лінійна усадка		Ураження тріщинами, мм				
		Абсолютна, Мм	Відносна, %	По ділянках				Сума
				I	II	III	IV	
АК 7	1	1,85	1,32	0	0	0	–	0
	2	1,65	1,18	0	0	0	–	0
	3	1,75	1,25	0	0	0	0	0
	4	1,85	1,32	0	0	0	0	0
	5	1,80	1,29	0	0	0	0	0
	Ср.	1,78	1,27					
АК12	1	1,05	0,75	0	0	–	–	0
	2	1,20	0,86	0	0	0	–	0
	3	1,15	0,82	0	0	0	0	0
	4	1,10	0,79	0	0	0	0	0
	Ср.	1,26	0,80					
АЛ25	1	1,51	1,08	0	0	–	–	0
	2	1,65	1,18	0	0	1,8	–	1,8
	3	1,68	1,20	0	0	1,9	0	1,9
	4	1,78	1,27	0	0	1,85	0	1,85
	Ср.	1,58	1,18					

Отримані значення лінійної усадки і схильність до утворення тріщин для сплавів АК7, АК12, АЛ25 добре погоджуються з літературними даними [22, 23]. Сплав АК12 демонструє кращу рідинноплинність ніж АЛ25 та АК7 у всьому дослідженому інтервалі температур перегріву вище лінії ліквідус (до 750 °С).

**а****б**

а – АЛ25; б – АК12

Рисунок 3.2 – Вид виливків проби Нехендзі-Купцова

В якості наповнювача використовували базальтові залишки кам'яного литва, після промивки технічною водою, сушки і відсіву фракції 160-200 мкм.

Таблиця 3.2 – Вплив частинок кам'яного литва на ливарні властивості алюмінієвого розплаву

Матричний Сплав	Кількість наповнювача, %	Довжина каналу, Мм	Відносно до матричного сплаву, %
АЛ25 (АК12М2МгН)	0	310	100,00
	3	215	69,35
	6	181	58,39
АК12	0	340	100,00
	3	241	70,88
	6	208	61,18
АК7	0	290	100,00
	3	215	74,14
	6	188	64,83

При проведенні досліджень було встановлено, що рідинноплинність зі збільшенням вмісту частинок у сплаві знижується, при технологічних розрахунках це необхідно враховувати.

При кристалізації розплаву з рідкого стану в тверде відбувається зменшення об'єму, що викликає утворення ливарних дефектів найбільшими з яких є усадкові каверни. Загальна об'ємна усадка складається з трьох етапів: усадка в рідкому стані при охолодженні від температури лиття до температури початку твердіння; усадка в період переходу з рідкого стану в тверде і усадка в твердому стані. Значення об'ємної усадки важлива характеристика ливарних властивостей сплавів. Для алюмінієвих сплавів об'ємна усадка в узагальненому дорівнює 0,7-1,4%. Внесення частинок кам'яного литва в алюмінієві сплави АК7, АК12, АЛ25 в кількості до 6 ваг.% в середньому знижує абсолютну об'ємну усадку на 2 %, що визначали за заміром зміни довжини основного каналу форми Нехендзі-Купцова.

З метою вивчення зміни властивостей МКМ в разі рециклінгу в процесі вивчення ливарних властивостей встановили, що вторинний переплав композиційних алюмоматричних матеріалів в більшості дослідів показав збереження ливарних характеристик в порівнянні з початковими, або незначну їх зміну. У деяких випадках на темплетях макрошліфів відмічали поліпшення розподілу зміцнюючих частинок в об'ємі виливка, що підвищує гомогенність матеріалу та може позитивно впливати на експлуатаційні характеристики матеріалу.

Дослідження мікроструктури виливків показало, що введення в алюмінієві розплави частинок кам'яного литва сприяє зменшенню дендритного параметра литої структури. Частинки можуть діяти діють як модифікатор і служити підкладкою для кристалів первинного кремнію в силумінах, але основний їх вплив при кристалізації відбувається коли, рухаючись з фронтом кристалізації вони відтісняються в міждендритні зони, перешкоджаючи, таким чином росту первинних дендритів. Встановили, що з підвищенням вмісту частинок в МКМ їх вплив на подрібнення елементів мікроструктури матриці посилюється. Подвійний просів та гідросепарація пилу з поверхні частинок дозволяють досягти відсутності пустот та каверн на поверхнях контакту частинка - металева матриця, що свідчить про задовільне змочування та адгезію наповнювача.

На етапах розробки технології одержання литих композиційних матеріалів найбільш трудомісткими і витратними є практичні експерименти по консолідації композиційних складових для одержання виливків. Характеристики заливки рідкого металу і параметри ливарної форми визначають розподіл зміцнюючих компонентів в обсязі і формування литої структури виливки. Велика кількість незалежних факторів обумовлює необхідність проведення великої кількості експериментальних плавок. Дослідна плавка, є найбільш витратним етапом для науково-технічних розробок в ливарному виробництві. Рішенням для здешевшання розробки технологічних режимів під визначену виливку, а також важливим інструментом для прогнозування параметрів заповнення ливарної форми та формування ливарної усадки в залежності від вихідних умов плавки є автоматизовані методи математичного моделювання. Методи математичного моделювання дозволяють

якщо не виключити натурні експерименти в сучасній науково-дослідній роботі, але звести їх кількість до мінімального. Застосування розробниками сучасних систем автоматизованого моделювання ливарних процесів (САМ ЛП) для моделювання процесів заповнення форми металом, дозволяє встановити характеристики затвердіння виливки, визначити ймовірність утворення ливарних дефектів, в тому числі усадочного характеру, і навіть передбачити їх вид і розташування в виливку. Використання сучасних програмних пакетів САМ і САП для оптимізації експериментів дозволяє істотно знизити витрати на проведення науково-дослідних розробок. Особливо це важливо для робіт пов'язаних з вивченням і розробкою технологій виробництва гетерогенних матеріалів, якими є композиційні матеріали (КМ).

У роботі застосовуючи модуль автоматичного моделювання одного з програмних пакетів, що має власну базу теплофізичних характеристик сплавів та матеріалів. Моделювання гідродинамічних рівнянь заповнення ливарної форми розплавом та наступна його кристалізація базується на числовій техніці знаходження рішень інтегральних та диференціальних рівнянь – методі скінчених елементів (МСЕ). МСЕ базується на розв'язуванні системи рівнянь для визначеного числа ділянок (що формують сітку) на які розбивається весь об'єм виливки. Розміри таких елементів можуть бути змінними, що дозволяє збільшувати чи зменшувати елементи сітки, змінюючи таким чином точність розрахунків. Скінченими елементами є прості фігури (лінії, трикутники, прямокутники, піраміди, призми), що дозволяє апроксимувати тіла із складною формою країв. Властивості матеріалів суміжних елементів можуть бути різними, що дозволяє окремо розраховувати теплофізичні характеристики для суміжних тіл з різних матеріалів, та таких що знаходяться в різних агрегатних станах (для форми та розплаву). Існуючі програмні пакети САМ довели свою ефективність та успішно використовуються на виробництвах ливарної галузі України та світу, що підтверджує адекватність таких математичних моделей та інформації, що може бути отримана з їх використанням. Тобто адекватність моделі є основним критерієм істинності даних, що отримуються в наслідок теоретичних розрахунків. Для того, щоб довести адекватність таких

підходів для композиційного литва для розплавів гетерогенного складу с дискретними частинками, було відтворено емпіричні експерименти по заливанню форму Нехендзі-Купцова розплавами алюмінію. Для чого методами сучасних САП було створено 3D моделі форми та вилівка проби Нехендзі-Купцова рис. 3.3. Результати дослідження було встановлено, що збіг фактичних досліджень довжини бічного каналу проби в залежності від кількості наповнювача(частинки кам'яного литва) та розраховані за допомогою математичного моделювання знаходиться в рамках відносної похибки 5 %. Що підтверджує адекватність використаних моделей розрахунку. Спираючись на цей висновок було проведено теоретичні дослідження заливання композиційних виливок за конфігурацією близьких до стандартних триботехнічних виробів.

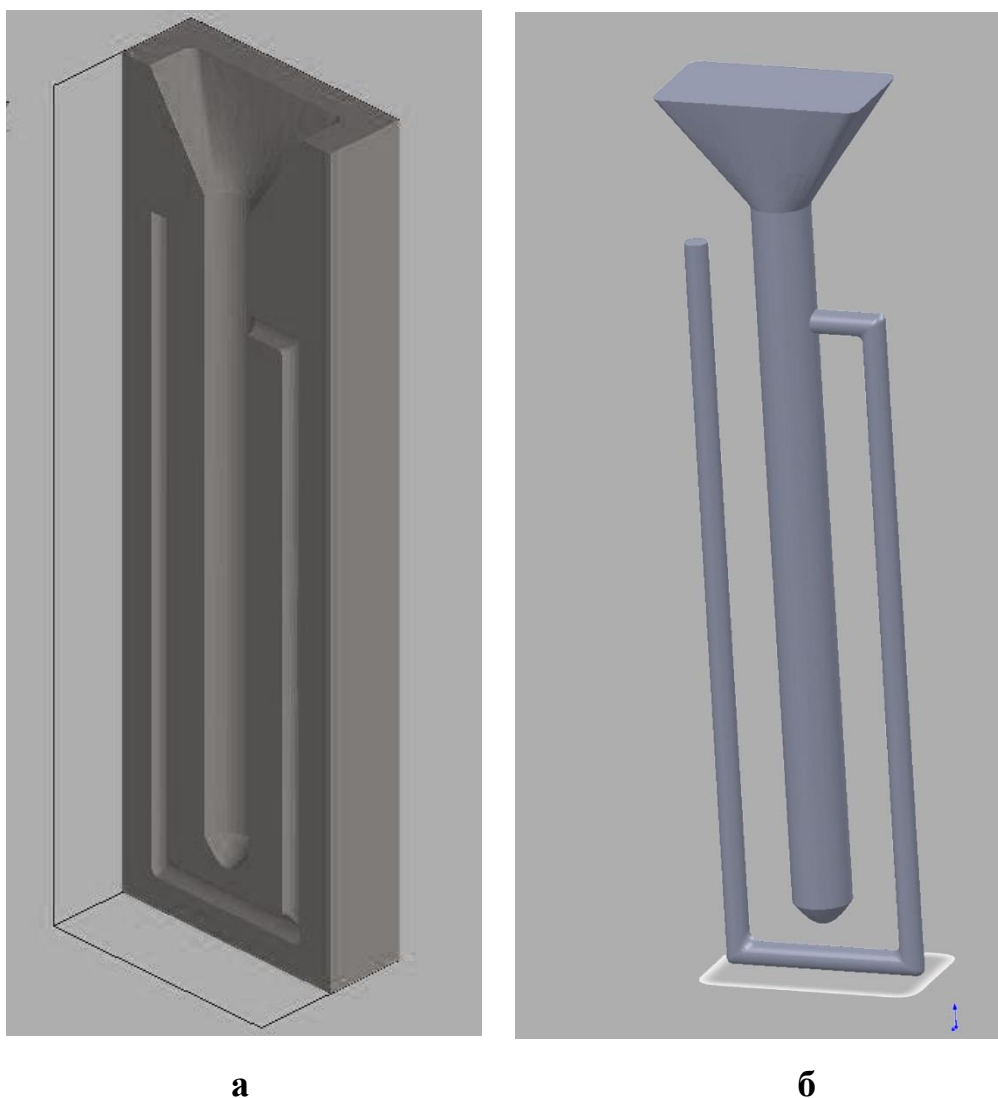


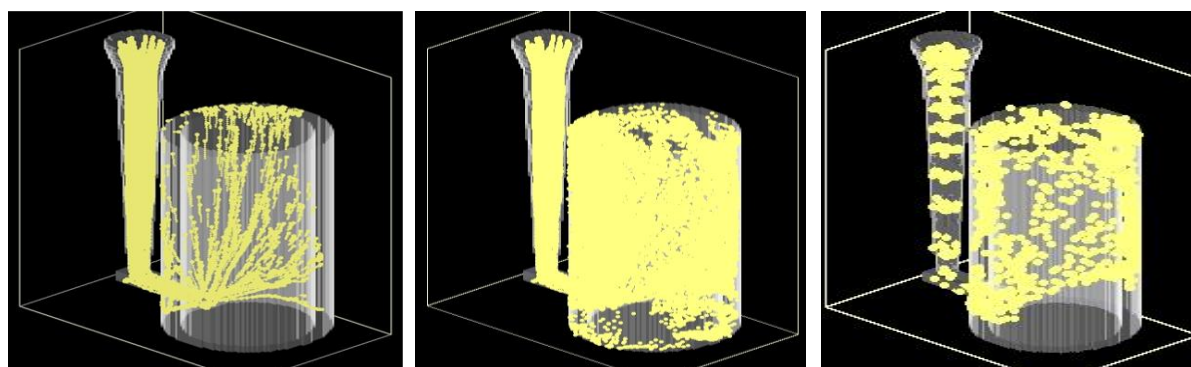
Рисунок 3.3 – Модель ливарної форми (а) проби Нехендзі-Купцова та виливок (б)

Моделювали заливку алюмінієвого розплаву АК12, що містить дискретні зміцнюючі частинки, в ливарну форму типу порожній циліндр (висота 200 мм, діаметр зовнішній 100 мм, діаметр внутрішній 90 мм). В якості зміцнюючих часток, що надходять одночасно в заливну чашу виступали сферичні елементи діаметром до 0.8 мм з щільністю близькими по значенні до кам'яного литва і графіту високої щільності, об'ємна частка частинок в розплаві становила 10%. Моделювали процеси гравітаційної заливки і заливки під тиском, в кокіль і ПГФ. Температура форми 20 °С, температура розплаву 670 °С, час заповнення 5 сек.

При заданих початкових умовах обсяг усадки для прямої верхньої заливки склав 8,4% при литті в ПГФ і 10,07% при литті в кокіль, а із застосуванням

ливникової системи сифонного типу 4,13% і 1,96% відповідно. При формуванні гетерогенної структури КМ, основним є рівномірний розподіл композиційної фази в металевій матриці. Що в умовах лиття досягається розподілом частинок в розплаві і фіксацією їх положення в твердому виливку. Для запобігання гравітаційного перерозподілу частинок їх фіксація повинна відбуватися з найменшою затримкою після заливки, що в даному випадку забезпечує лиття в кокіль.

Використання візуалізації процесу дозволило встановити особливості і ступінь розподілу частинок, а також найбільш вразливі місця виливки, що схильні виникнення усадочних пор. Встановили, що при введенні частинок під тиском, потоки розплаву втягують їх за собою не дозволяючи рівномірно розподілитися. В кінцевому підсумку в литві часинки розподілені не рівномірно рис. 3.4. При гравітаційній заливці частинки, як з графіту так і кам'яного литва, рівномірно розподіляються в обсязі всього виливка (рис. 3.5 та рис. 3.6).



а

б

в

а - початковий момент заповнення форми, б - після затвердіння виливка і розподіл каменелитих частинок, в - готовий виріб.

Рисунок 3.4 – Розподіл частинок графіту в процесі формування КМ при литті під тиском

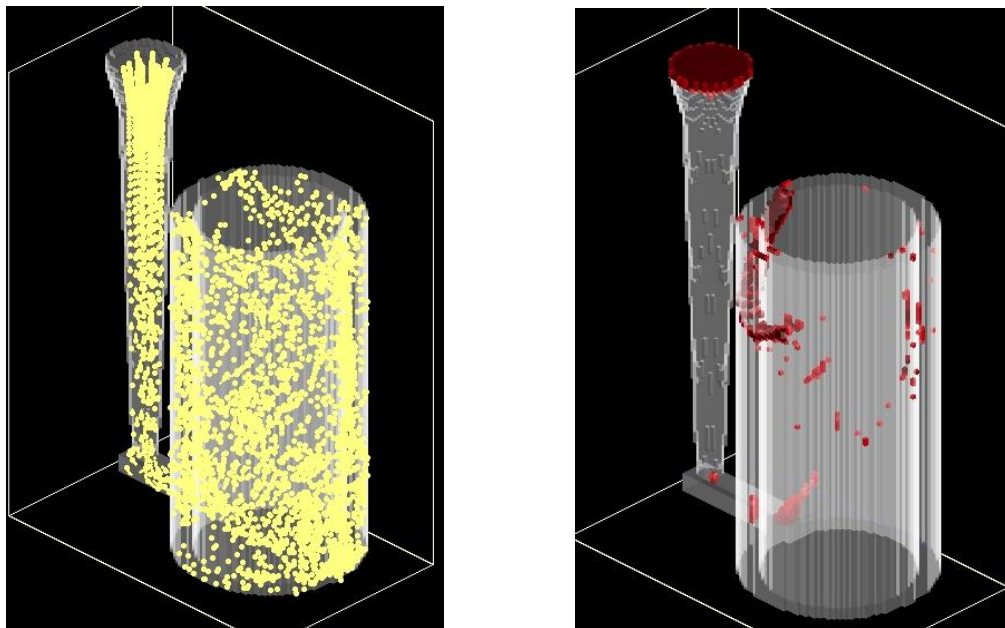


Рисунок 3.5 – Розподіл частинок графіту (а) і усадочної пористості (б) при заливці КМ методом гравітаційного лиття

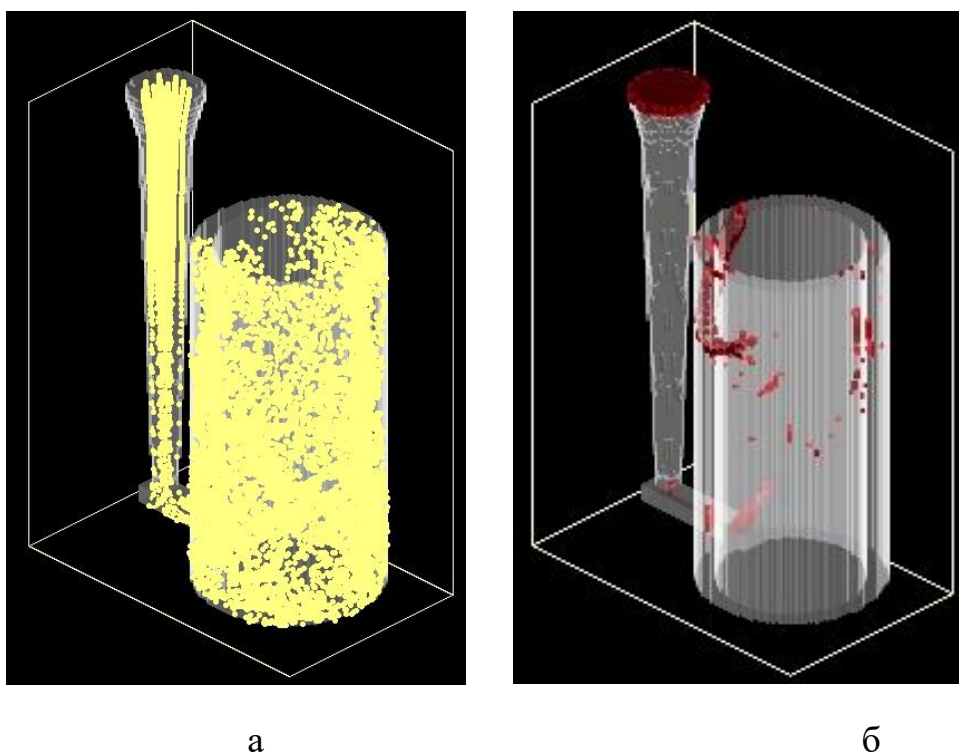


Рисунок 3.6 – Розподіл частинок кам'яного литва (а) і усадочної пористості (б) при заливці КМ методом гравітаційного лиття

Таким чином, на основі математичного моделювання та візуалізації одержано теоретичні данні, за якими встановили ефективність способів заливки розплаву АК12 з частинками графіту і кам'яного литва, що дозволяють отримувати якісні

композиційні виливки близькі за своєю конфігурацією до стандартних триботехнічних виробів (втулка, шайба).

3.2 Особливості взаємодії зміцнюючих наповнювачів з матричним алюмінієвим розплавом

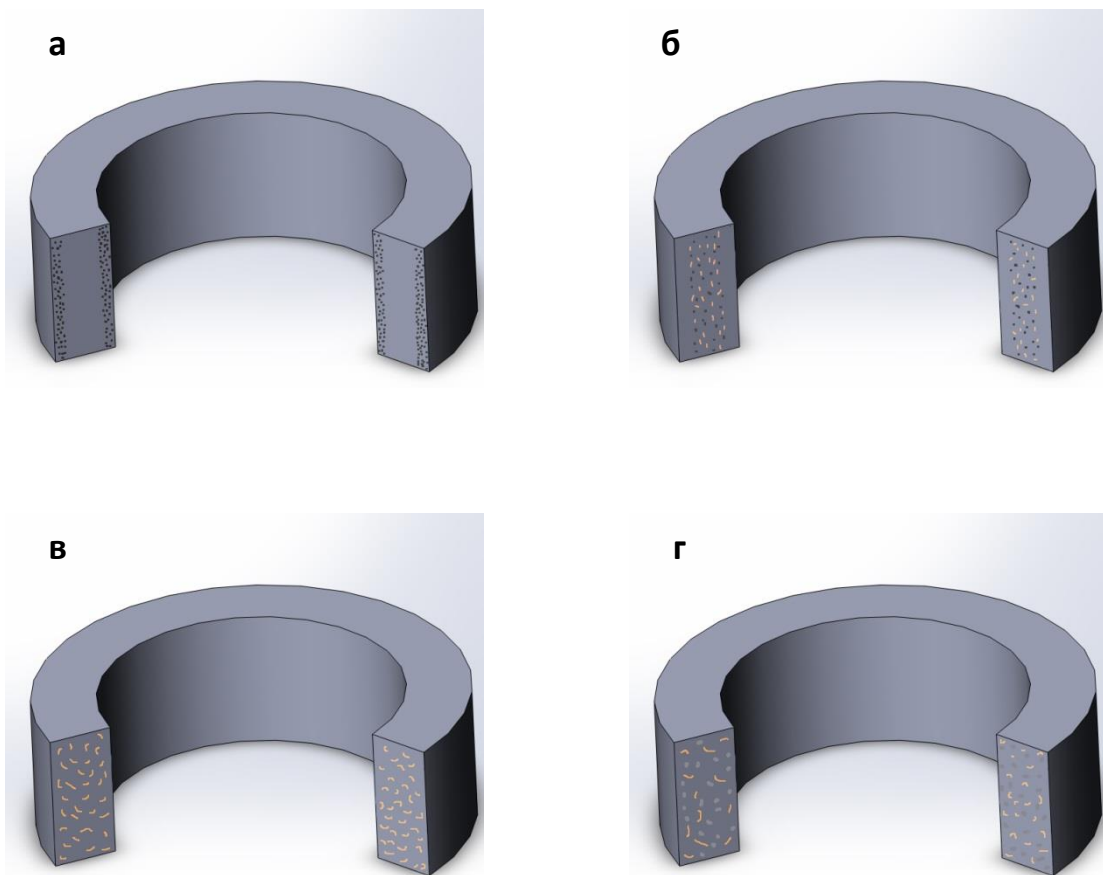
Структура й властивості ЛКМ визначаються трьома групами факторів: фізико-хімічними, конструктивними та технологічними. Головними факторами першої групи є фізико-хімічні властивості шихтових компонентів, які визначають характер кристалізації і взаємодії, вид зв'язку елементів у ЛКМ, та в підсумку властивості будови і властивості композита. До другої групи факторів відносяться параметри армування, геометричні та розмірні параметри заготовок ЛКМ. До третьої – особливості (параметри) всіх етапів технологічного процесу синтезу ЛКМ: попередня підготовка зміцнюючих елементів і матричного розплаву, спосіб лиття заготовок ЛКМ, кінцева обробка литих композиційних заготовок. Із цих трьох факторів, при інших рівних умовах, природа та властивості шихтових матеріалів впливають на технологію, структуру і властивості композиційних виробів. Цей вплив залежить у свою чергу від особливостей тонкої структури, міжатомної взаємодії у вихідних шихтових компонентах, міжфазної взаємодії елементів композита при його виготовленні, особливо в умовах твердо-рідкого суміщення.

При вивченні взаємодії компонентів ЛКМ була використана комплексна методика, що включала металографічні, мікрорентгеноспектральний методи аналізу, оригінальні методики вимірювання мікротвердості по глибині вдавлення індентора, а також метод термічного аналізу.

При використанні відцентрового способу лиття з вертикальною віссю, частинки зміцнюючої фази можуть розподілятися по-різному: у вигляді шарів з зовнішньої та внутрішньої сторони вилівка, по її центру. Можливо досягти рівномірного розподілу частінок, але це залежить від параметрів виготовлення ЛКМ. Вивчення вирізаних темплетів ЛКМ показав (рис.3.7), що при використанні в

якості зміцнюючої фази карбіду кремнію, частинки розподіляються шарами, товщиною 2-3 мм із зовнішньої і внутрішньої сторони вилівка (рис. 3.7а). Таку ж шарувату форму розподілу має комплексна добавка зміцнюючої фази в алюмінієвому розплаві, що містить частинки карбіду кремнію і бронзової стружки (рис. 3.7б). Досить рівномірно розподіляються в алюмінієвому сплаві частинки бронзової стружки (рис. 3.7в) і комплексної добавки, що складається з стружки та частинок алюмосилікату (рис. 3.7г).

Для цієї серії зразків характерним є формування в алюмінієвому сплаві α -твердого розчину недендритної форми та виділення фази CuAl_2 у вигляді сітки, що, залежно від умов виготовлення може у перетині місцями мати неоднорідний характер, або бути присутнім у вигляді розрізнених дрібних включень. Присутні також пластинчасті та голчасті кристали первинного кремнію. При введенні в розплав бронзової стружки, можна відзначити збільшення в матричному сплаві заліза і мідних складових, кристалічних утворень типу FeNiAl_9 , α (FeAlSi) і складних інтерметалідів W (CuMgAlSi). Адгезія частинок до матричного сплаву різна. Найкраще адаптуються з алюмінієм частки алюмосилікату. Між бронзовою стружкою та матрицею, залежно від параметрів армування, попередньої обробки стружки та ін. можливе утворення зазору, або виникнення зони взаємодії різної ширини. На розподіл частинок SiC також впливають параметри технології виготовлення і попередньої обробки частинок. Частинки Si можуть мати щільний зв'язок з матрицею, а іноді зазор.



а – композит з частинками SiC; б – с частинками бронзової стружки і SiC;
 в – бронзова стружка в алюмінієвому сплаві; г – частинки алюмосілікату та
 бронзової стружки

Рисунок 3.7 – Схематичне зображення розподілу частинок в алюмінієвій матриці у виливках відцентрового методу лиття з вертикальною віссю обертання

При використанні методу відцентрового лиття заготовок ЛКМ, з горизонтальною віссю обертання, у них завжди виходить шар композита із зовнішньої сторони виливка (рис. 3.8). При виготовленні таких зразків також використовували моно- або гібридні суміші зміцнюючих елементів, які включали бронзову стружку, карбід кремнію, частинки кам'яного лиття, алюмосилікату. Протяжність отриманого шару становить, залежно від виду зміцнюючої фази, 4-10 мм.

Аналіз структури виготовлених зразків показав, що при використанні цього методу лиття адгезія частинок до матричного сплаву поліпшується. Наявність зазору між армуючими елементами та матрицею знижується. Основу структури матричного сплаву становить α -твердий розчин, евтектика, що залежно від якості присутніх у ЛКМ часток, мають різне співвідношення. При введенні, наприклад, частинок кам'яного литва, евтектика складається з α +Si. Фаза CuAl_2 є присутньою у вигляді включень між кристалами зерен. Якщо вводили бронзову стружку, то в евтектиці перебували також включення CuAl_2 . У цьому випадку, можна також відзначити збільшення кількості фази типу Fe_2SiAl_8 . Ця фаза утвориться у вигляді пластинок, кістякових кристалів у формі ієрогліфів. Алюмінієвий сплав поблизу Si і алюмосилікату збагачений кристалами первинного кремнію, а поблизу бронзової стружки – фазою CuAl_2 . Більша щільність контакту алюмінію з армуючою фазою (бронзовою струшкою та алюмосилікатом) створює передумови виникнення зони взаємодії між елементами композита в процесі затвердіння. Під мікроскопом виявляється наявність облямівки зони взаємодії навколо зміцнюючих частинок цих матеріалів, що має інший, у порівнянні з матрицею, колір.



а б в г д



е ж з

а, б - ЛКМ із бронзовою стружкою; в - із сумішшю бронзової стружки і частинок кам'яного лиття; г - із частками кам'яного лиття; д, е - вихідний алюмінієвий сплав; ж - із сумішшю часток бронзової стружки та SiC; з - із сумішшю часток бронзової стружки, SiC і алюмосилікату

Рисунок 3.8 – ЛКМ вирізані з відцентрових виливків з горизонтальною віссю

При використанні стаціонарного способу лиття композитів частинки зміцнюючих елементів попередньо вводили в алюміній, замішуючи їх у розплав. Проведення експериментів виконували при зміні умов перемішування частинок (ручним або механічним способами), тривалості процесу замішування, виду, характеру введення зміцнюючих елементів у рідку матрицю. Наприклад, частинки вводили безпосередньо в розплав, після чого перемішували суміш, або засипали частинки на дно тигля, зверху заливали алюміній і після того, як він розплавлявся цю суміш перемішували. Замішування виконували за допомогою мішалок різної конфігурації і при варіюванні швидкості замішування.

Порівняння структур отриманих зразків показало, що використання механічного устаткування для замішування сприяє поліпшенню умов замішування в порівнянні з ручним і іншим способами, створює умови для рівномірного розподілу зміцнюючих елементів у матриці. Із всіх експериментів введення частинок засипанням на дзеркало розплаву в плавильному тиглі виявилось найбільш ефективним методом.

Термічний аналіз проводився в режимі плавлення зразків вихідного сплаву та композиційного. Маса зразків була однаковою і становила в середньому 20 г. Реєстрація термічних кривих охолодження проводилася на установці комп'ютерного термічного аналізу.

Запис для аналізу термічної кривої нагрівання і плавлення зразків після кристалізації ґрунтувався на необхідності визначення рівноважних, або близьких до рівноважних температурах, фазових переходів з рідкого у твердий стан. З позицій такого підходу реалізується можливість визначення типу фазових складових з використанням відомих діаграм стану, у тому числі багатокomпонентних. Послідовність температурних інтервалів переходу із твердого в рідкий стан, залежить від фазових складових, присутніх у структурі сплаву. Термічна крива в процесі охолодження вносить елемент переохолодження та знижує точність визначення температур початку і кінця перетворення.

Результати попередніх досліджень, виконані на чистих металах, показали, що в процесі нагрівання, незалежно від швидкості, точність визначення температури

плавлення по кривій нагрівання зразка не нижче ± 3 °C. Визначення температурних інтервалів перетворень у процесі плавлення проводиться за допомогою диференціальних функцій $dT(\tau)$ і $D^2T(\tau)$. По відповідних перегибах на диференціальних кривих і відповідних температурах на температурних кривих були визначені температурні інтервали фазових переходів, які наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Температурні інтервали плавлення структурних складових

ЗРАЗОК	Значення температур начала и кінця плавлення структурних складових, °C						
Вихідний сплав	501-524	524-538	538-552	552-571	571-580	580-584	584-593
Композиційний матеріал	474-543	543-550		550-582		582-586	586-600

Аналіз отриманих результатів підтверджує існування в структурі фаз типу CuMgAl і типу W(CuMgAlSi), можливість утворення яких при кристалізації реалізується при температурах нижче 524 °C, причому фази кремнію можуть виходити в температурному інтервалі нижче 500 °C. Слід зазначити, що в інтервалі 524-501 °C основним типом перетворень є перитектичні реакції, які в силумінах розвиваються в процесі прискореного охолодження. Неповнота протікання таких реакцій приводить, як правило, до концентраційної неоднорідності твердого розчину та зростанню внутріфазових напружень. Результатом є зниження пластичних властивостей сплаву. Наявність такого інтервалу у вихідному сплаві АК5М2 пов'язана з високим вмістом заліза, що гальмує перерозподіл основних легуючих елементів у рідкій фазі, що сприяє розвитку нерівноважних перитектичних реакцій.

У композиційному матеріалі, як ми бачимо з результатів термоаналізу, перевагу одержують реакції евтектичного типу, напевно, за рахунок тепла акумульованого частками алюмосилікату. Підвищення температури ліквідусу

сплаву із цими частками свідчить про утворення на початку кристалізації твердого розчину меншого ступеня легування в порівнянні із твердим розчином вихідного сплаву. Із цього слідує, що частинки алюмосилікату сприяють збагаченню рідкого залишку легуючими елементами, починаючи з початкових стадій кристалізації. Якщо врахувати результати мікроструктурного аналізу, то можна вважати, що починаючи з 550 °C відбувається переважне утворення складної евтектики з $\text{FeMg}_3\text{Si}_6\text{Al}_8$ і евтектик, які складаються, головним чином, з фаз збагачених міддю і магнієм. Вірогідність такого припущення підтверджують результати вимірів мікротвердості твердого розчину, що наведені на рис. 3.9. У сплаві із частинками алюмосилікату зростає частка твердого розчину зі зниженою мікротвердістю, але зменшується частка ділянок із проміжними значеннями мікротвердості на рівні 900-1000 МПа. Частка твердого розчину з мікротвердістю до 1280 МПа практично незмінна.

Крім традиційного визначення мікротвердості по діагоналі відбитка індентора, прилад на базі модернізованого ПМТ-3 давав можливість провести мікромеханічні випробування складових сплаву, шляхом безперервної реєстрації глибини вдавлення твердого індентора при фіксованих величині та швидкості навантаження.

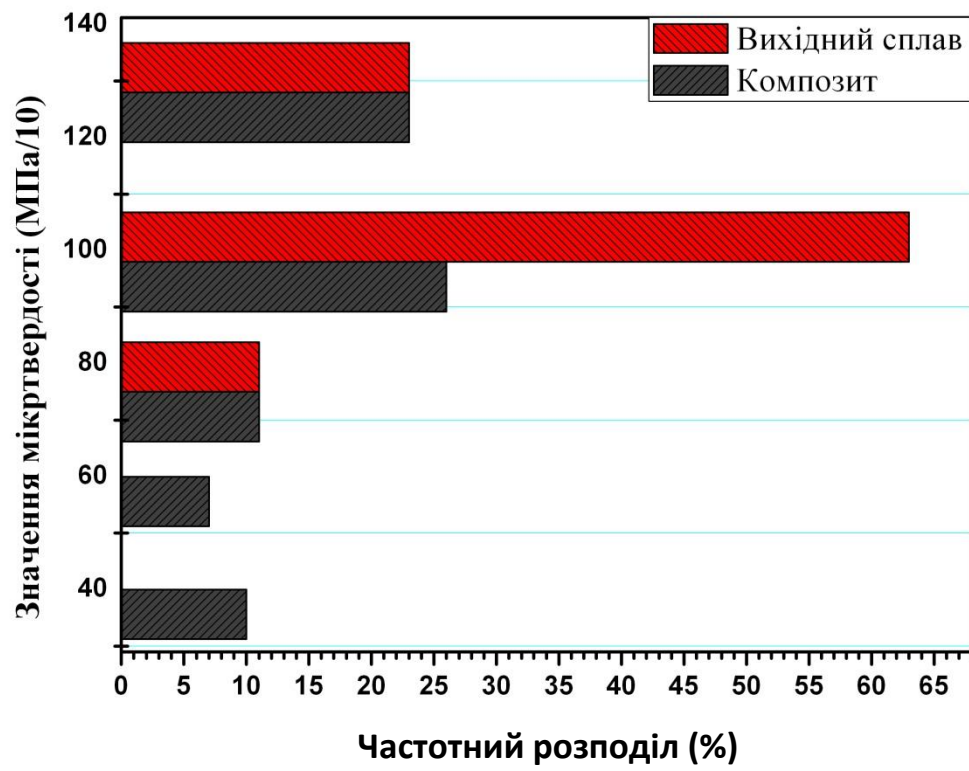
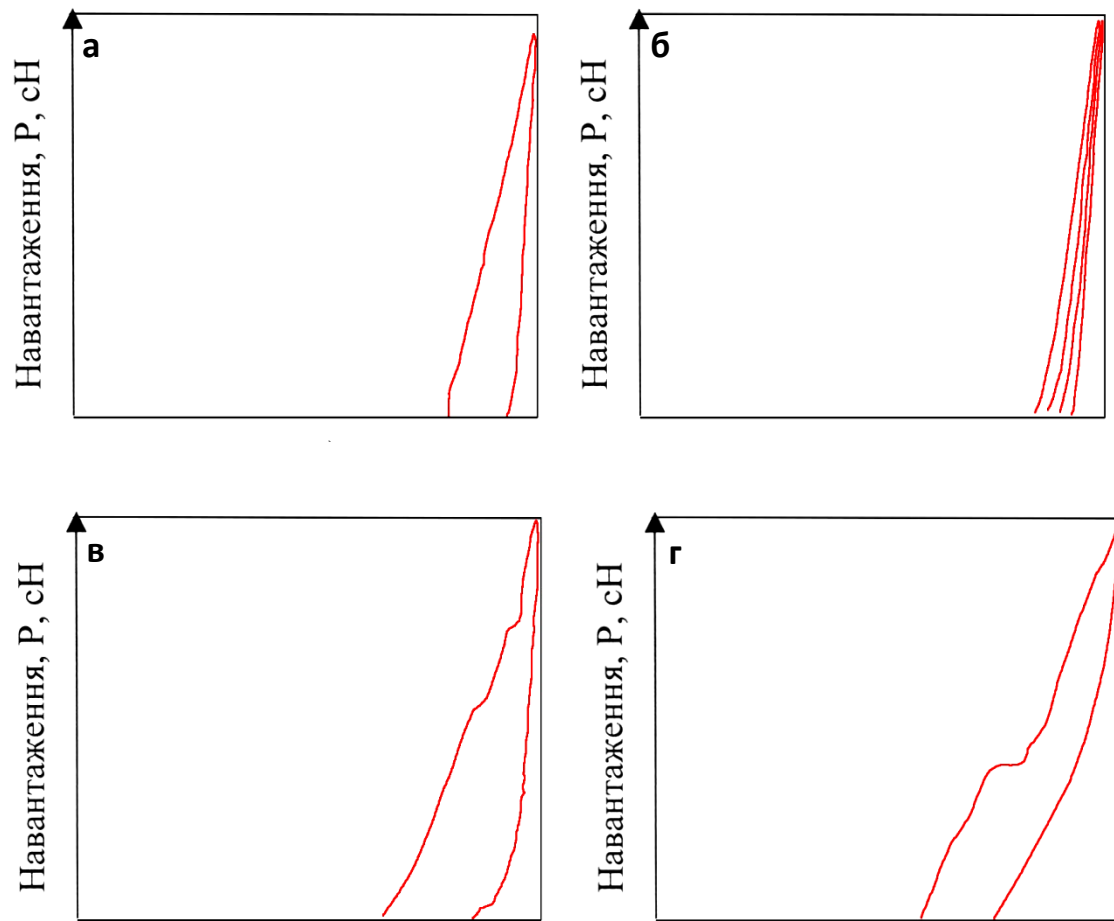


Рисунок 3.9 – Частотний розподіл мікротвердості в α - твердому розчині



а - твердий розчин; б - центр частинки; в - по частинці в напрямку до міжфазної границі з матричним сплавом; г - поблизу міжфазної границі

Рисунок 3.10 – Загальний вид кривих навантаження при мікродавленні індентора у твердий розчин і в частинки алюмосилікату

З результатів наведених на рис. 3.9; 3.10 видно, що динаміка зміни функції навантаження твердого розчину та частинок алюмосилікату в процесі вимірювання принципово різна. Отже, у твердому розчині на початкових стадіях навантаження відбувається зміцнення під навантаженням, після чого активується процес пластичної деформації. У частинках алюмосилікату, які прилягають до міжфазної границі розподілу, навпаки, спочатку відбувається процес пластичного плину, після чого відбувається зміцнення в процесі навантаження. У центрі неметалічної частки зміна функції навантаження є характерним для твердих матеріалів.

Отримані результати свідчать про потенційну перспективність використання частинок алюмосилікату плані для підвищення зносостійкості сплаву АК5М2.

Наведені дані свідчать також про доцільність проведення термічної обробки об'єкта досліджень - композиційного матеріалу на основі сплаву АК5М2 з метою підвищення механічних властивостей матриці.

З використанням стаціонарного методу лиття були також виготовлені зразки ЛКМ, армовані бронзовою стружкою. Стружку замішували в алюмінієві розплави АК5М2 і АК12М2Мгн. На рис. 3.11 представлена макробудова таких ЛКМ.

Металографічний аналіз шліфів зразків показав наявність адгезії високого рівня зміцнюючих елементів до матричного сплаву. Було також виявлено, що бронзова стружка місцями взаємодіє з алюмінієм. Ця взаємодія спостерігається як при замішування в сплав марки АК5М2, так і АК12М2МгН. При певних температурно-тимчасових режимах процесу одержання ЛКМ можливе розчинення бронзової стружки в матриці. При цьому утворюється сплав Al-Cu, що має високу мікротвердість. Якщо H_{μ} α -твердого розчину матричного сплаву рівняється 80-93 кг/мм², то в зоні



Рисунок 3.11 – Макроструктура ЛКМ на основі алюмінієвого сплаву армованого бронзовою стружкою

взаємодії H_{μ} досягає 465 кг/мм^2 , однофазна бронза стружки має $H_{\mu_{\text{сер}}} = 150 \text{ кг/мм}^2$. У випадках коли бронзова стружка розчиняється в алюмінієвому розплаві на 60-80% спостерігається утворення сполуки зон перемінного складу з підвищеною мікротвердістю. Взаємодія неметалічних і металевих зміцнюючих частинок з алюмінієвим розплавом вивчали методами металографічного, електронної мікроскопії та локального рентгеноспектрального методів аналізу. Були досліджені міжконтактні границі між частинками карбіду, неметалічного матеріалу, алюмосилікату і бронзової стружки з матричними сплавами на основі алюмінію АК5М2 і АК12. Виконані дослідження показали, що у випадку використання частинок карбіду кремнію в ЛКМ на контакті їх з алюмінієвим сплавом відсутня зона взаємодії (рис. 3.12). При чому спостерігається високий рівень адгезії частинок до матриці, про що свідчить щільний контакт між ними і відсутність зазору. Руйнування частинок у зоні контакту не спостерігається. При введенні частинок каменелитового матеріалу на контактній границі спостерігається присутність зони взаємодії шириною до 1 мкм (рис. 3.13). У цій зоні взаємодії відбувається розчинення склоподібної фази, що присутня у каменелитовому матеріалі частинок у кількості до 20%. У результаті розчинення склообразної речовини відбувається

проникнення розплаву алюмінію в проміжки між осередками кристалів дендритів утворень авгіту. Це приводить до руйнування граничної зони каменелитої частинки (рис. 3.14). Кавітаційні процеси перемішування композиції, температурний вплив разом з хімічною взаємодією приводять до місцевого відколювання мікрочастинок і вимивання їх розплавом. Дослідження міжфазної границі виконували методом мікрорентгеноспектрального аналізу. З його допомогою був визначений характер розподілу елементів у частинках, на границі зміцнююча фаза - матриця, в алюмінієвому сплаві, по одержаним даним встановили зміну елементного складу, що відбуваються вздовж ліній проходження мікрозонда по поверхні зразка ЛКМ.

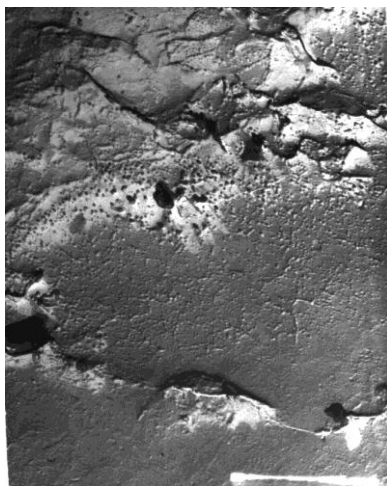
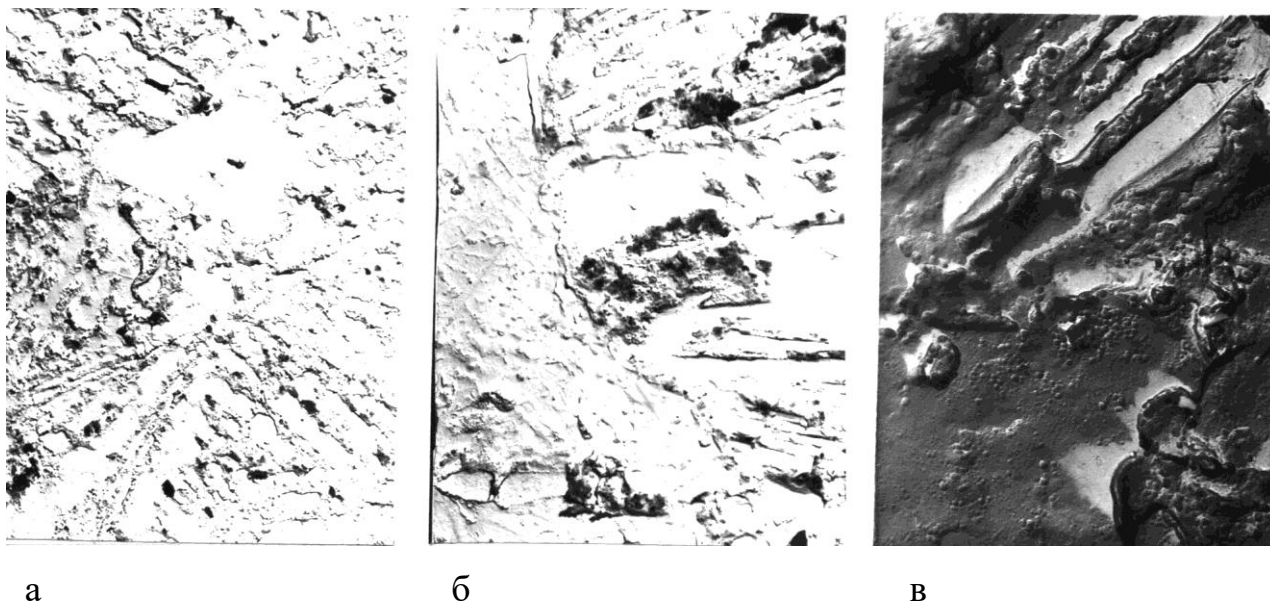
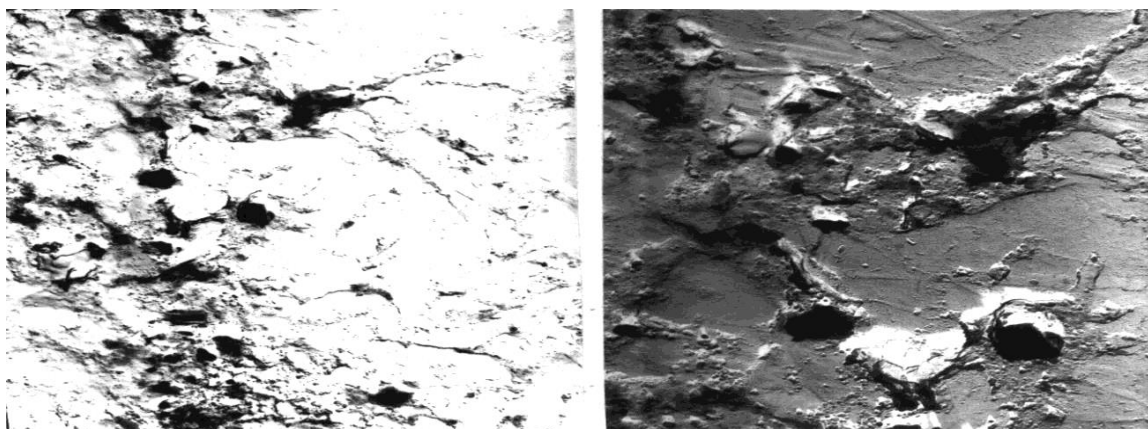


Рисунок 3.12 – Електронномікроскопічні знімки границі розділу зміцнюючих частинок SiC у матричному сплаві АК12



а – каменелита частинка; б, в – границя розділу в композиті

Рисунок 3.13 – Електронномікроскопічні знімки структури композиту з каменелитими частинками в матричному сплаві АК5М2



а – зона взаємодії; б – фрагмент зони у збільшеному вигляді

Рисунок 3.14 – Електронномікроскопічні знімки зони взаємодії каменелитих частинок з матрицею із сплаву АК5М2

Проведені дослідження композита, що складається з сплаву АК12 армованого частинками кам'яного лиття, показали, що в частинках від термоудару виникають тріщини куди проникає алюмінієвий розплав. У процесі затвердіння композита він продовжує свою руйнівну дію, розширюючи цю тріщину. Тому мікроструктура шліфів зразків цього виду у матриці ЛКМ міститься значна кількість частинок із тріщинами і їхнього відколювання. Треба відзначити, що просочення алюмінієвим розплавом частинок кам'яного лиття не відбувається. Має місце лише незначне збагачення алюмінію залізом, кількість якого зростає на границі за рахунок дифузії та хімічної взаємодії.

Інакше з цим сплавом взаємодіють частинки шлаків. Металографічне дослідження показало, що окремі частинки кородують і по краях. Границя частинки має зубчасту будову, а в середині зустрічаються місця руйнування у вигляді каверн. Отримані дані мікрорентгеноспектрального аналізу підтвердили присутність початкових стадій взаємодії частинок. При цьому алюмінієвий сплав поблизу границі розподілу збагачується кремнієм, марганцем, залізом. Можна допустити наявність початкової стадії взаємодії та виникнення сполук, які містять елементи Cu, Mn, Si, Fe.

У випадку використання сплаву АК5М2 взаємодія шлакового зерна з матрицею відбувається більш інтенсивно. При цьому дрібні частинки мають зону взаємодії більшої протяжності, чим більші зерна. Це пов'язане з тим, що в таких частинках у результаті дії температурного фактору відбувається часткова кристалізація склоподібної фази, що є у структурі шлакового зерна. У тій частині зерна, де алюмінієвий розплав контактує із кристалічною складовою, взаємодія протікає менш інтенсивно. Склоподібна фаза шлаків взаємодіє з алюмінієм більш активно. Сплав збагачується Mn, Mg, Ca, Si. При цьому, завдяки реакції, що протікає між компонентами, виникає перехідна зона. У ній можна припустити утворення сполук типу FeAl_3 , MnAl_6 , CuAl_2 .

У сплавах АК12 і АК5М2 частки алюмосилікату змочується зерен алюмінієвим розплавом інтенсивніше, що відзначалося раніше. Відбувається активне проникнення рідкого металу в мікропори цих частинок, які відзначаються

пористістю в 15-20 разів більшою, ніж, наприклад, шлаки, або кам'яне лиття. Отримані дані проведеного мікрорентгеноспектрального аналізу дають можливість припустити, що в процесі суміщення протікає взаємодія компонентів композита. Границя розподілу дуже видозмінена. При взаємодії зі сплавом АК12 матриця збагачується кремнієм та кальцієм. Якщо частинки мають у своєму складі титан, він також інтенсивно переходить у матричний сплав. Зерна алюмосилікату трохи просочуються алюмінієм, що в більшій мері має місце при використанні сплаву АК5М2. При цьому завдяки взаємодії компонентів матриця також збагачується кремнієм. У той же час, зерно алюмосилікату просочується міддю. Вміст міді в центрі зерна відсутній, а в зоні просочення досягає кількості вмісту міді в твердому розчині алюмінію.

Ступінь взаємодії компонентів пов'язана також із впливом технологічних факторів одержання ЛКМ. Використання підвищених температур, температурно-тимчасових параметрів контактного впливу, сприяє посиленню процесів взаємодії, проникненню алюмінію в структуру зміцнюючих елементів і поступовому їх руйнуванню.

Висновки до 3 розділу

1. Математичне і фізичне моделювання руху часток при відцентровому литті дало можливість одержати щільні литі композиційні виливки на основі алюмінієвого сплаву, зміцнені елементами бронзової стружки та частинками кам'яного лиття із зовнішнім композитним шаром (4-5 мм) і рівномірним їх розподілом по всій довжині втулки.
2. Вивчення впливу зміцнюючих часток на ливарні властивості показало, що рідиноплинність екзогенних композиційних матеріалів зменшується при збільшенні введених зміцнюючих часток, а внесення частинок кам'яного литва в алюмінієві сплави АК7, АК12, АЛ25 в кількості до 6 ваг.% в середньому знижує абсолютну об'ємну усадку на 2 %.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Розвиток науково-технічного прогресу незмінно супроводжується постійним збільшенням споживання природних ресурсів й одночасним зростанням кількості виробничих і побутових відходів. Проблема раціонального використання відходів як найтісніше пов'язана з ефективністю суспільного виробництва і захистом навколишнього середовища. Переробка, утилізація та видалення відходів ніколи не викликали такого великого інтересу, як в даний час. Наприклад, при спалюванні, 200 тис. тонн відходів в рік на Київському заводі з термічної переробки побутових відходів утворюється до 30 тис. тонн золи та шлаку. При цьому витрати на їх транспортування на звалище складають близько 18 млрд. грн. на рік.

Постійним джерелом промислових відходів в Україні є діючі підприємства гірничодобувної, переробної, металургійної, енергетичної, хімічної та інших галузей промисловості. Загальні обсяги їх накопичення складають близько 25 млрд. тонн і при роботі підприємств на повну потужність щорічно можуть збільшуватися приблизно на 1 млрд. тонн.

Утилізація утворюваних шлаків і золи дозволить зменшити забруднення навколишнього середовища, звільнити родючі землі зайняті звалищем, отримати нові матеріали для використання їх в промисловому виробництві, зменшити витрати на транспортування відходів і поліпшити механічні та трибологічні характеристики виливків.

4.2 Розрахунок планових витрат на проведення НДР

Робота виконувалася у відділі композиційного литва ФТІМС НАН України. Планова кошторисна вартість (собівартість) науково-дослідницької роботи розраховувалася за наступними видатковими статтями:

- заробітна плата науково-дослідницького персоналу;

- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів, необхідних для виконання НДР;
- вартість спеціального обладнання для проведення експерименту;
- службові відрядження;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.2.1 Витрати на оплату праці

Розрахунок заробітної плати науково-дослідницького персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їхньої денної заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах НДР).

При виконанні даної науково-дослідницької роботи брали участь: старший науковий співробітник, інженер 1-ї категорії та інженер дослідник (магістр). Для ФТІМС НАН України тарифні ставки сумарної місячної заробітної плати складають:

- старшого наукового співробітника – 14317 грн.;
- інженера 1-ї категорії – 6195 грн.;
- інженера-дослідника (магістр) – 3845 грн.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає:

- старшого наукового співробітника – 675,3 грн.;
- інженера 1-ї категорії – 292,2 грн.;
- інженера-дослідника – 181,4 грн.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадової оплати виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людино-днях. Перелік робіт та трудомісткість зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість макроетапів виконання НДР

Макроетапи НДР	Трудомісткість, людино-днів		
	Старший науковий співробітник	Інженер 1-ї категорії	Інженер-дослідник
1. Отримання завдання та аналіз фахових публікацій з теми	—	—	8
2. Обґрунтування мети та напрямів дослідження	2	2	2

продовження таблиці 4.1

3. Розроблення методики проведення досліджень за темою	6	4	4
4. Проведення експерименту 4.1 Плавлення металу 4.2 Виготовлення зразків 4.3 Дослідження ливарних властивостей	8	24	24
5. Аналіз та обговорення результатів дослідження	6	6	8
6. Оброблення результатів та побудова залежностей	8	4	12
Всього	30	40	58

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців. Підсумовуючи одержані результати, визначається загальний фонд заробітної плати з теми. Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Фонд заробітної плати

Посада	Трудовісткість, людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
1	2	3	4	5
Старший науковий співробітник	30	14317	675,3	20259
Інженер 1-ї категорії	40	6195	292,2	11688
Інженера- дослідника	58	3845	181,4	10521,2
Разом				42468,2

4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством єдиний соціальний внесок складає 22 % від заробітної плати.

$$B_c = 0,22 \cdot 42468,2 = 9343 \text{ грн.} \quad (4.1)$$

4.2.3 Матеріали необхідні для проведення досліджень

Для проведення досліджень використовувалися наступні матеріали: алюмінієвий сплав марки АК5М2, шамот, карбід кремнію, бронзова стружка. Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування	Одиниці вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
1	2	3	4	5
Сплав АК5М2	кг	26	17,7	460,2
Шамот	кг	5	2	10
Карбід кремнію	кг	3	280	840
Бронзова стружка	кг	8	61,62	492,96
Всього				1803,16

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо в розмірі 10 % від вартості матеріалів:

$$B_{\text{тр.}} = 1803,16 \cdot 0,1 = 180,316 \sim 180,3 \text{ грн.} \quad (4.2)$$

Таким чином повна сума витрат на матеріали становить:

$$\Sigma B_{\text{тр.}} = 1803,16 + 180,3 = 1983,46 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

При виконанні науково-дослідницької роботи всі роботи проводилися з використанням лише наявного обладнання в лабораторії ФТІМС НАН України.

4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій

У виконанні науково-дослідницької роботи сторонні організації участі не брали.

4.2.6 Витрати на службові відрядження

При виконанні науково-дослідницької роботи за даною темою, згідно плану, ніякі службові відрядження не проводилися.

4.2.7 Інші прямі невраховані витрати по темі

Інші прямі невраховані витрати плануються у розмірі 10% від суми врахованих витрат на науково-дослідну роботу:

$$C_{\text{інші}} = 0,1 \cdot (42468,2 + 9343 + 1983,46) = 5379,5 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

4.2.8 Накладні витрати

До накладних витрат відносяться:

- витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском);
- витрати на допоміжні виробництва;
- витрати на утримання та експлуатацію виробничих площ, наукових приладів та установок;
- витрати на охорону праці, техніку безпеки та екологію;
- фінансування підготовки кадрів, воєнізованої охорони й деякі інші.

Норматив відрахувань на накладні витрати для ФТІМС НАН України встановлений у розмірі 20% планової сумарної вартості виконання НДР. Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,2 \cdot (42468,2 + 9343 + 1983,46 + 5379,5) = 11834,8 \text{ грн} \quad (4.5)$$

4.2.9 Визначення планової кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість науково-дослідницької роботи визначається як сума витрат за окремими статтями калькуляції. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн.	%
1. Фонд заробітної плати	ФЗП	42468,2	59,8
2. Єдиний соціальний внесок	В _с	9343	13,2
3. Матеріали необхідні для виконання теми	В _{тр.}	1983,46	2,8
4. Спеціальне обладнання для наукових робіт	С _{об}	—	—
5. Робота і послуги сторонніх організацій	С _{стор}	—	—
6. Витрати службові відрядження	С _{від}	—	—
7. Інші прямі невраховані витрати	С _{інш}	5379,5	7,6
8. Накладні витрати	Н _в	11834,8	16,6
Всього		71008,96	100

Згідно з таблицею 4.4 загальна планова кошторисна вартість науково-дослідної роботи складає:

$$V_{\text{НДР}} = 71008,96 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

4.3 Науково-технічна ефективність НДР

Дослідження, що проводяться в даній роботі, мають дослідницький та теоретичний характер. Відповідно з цим прямий розрахунок очікуваного річного економічного ефекту надзвичайно складний, оскільки відсутні повні дані відносно сфери використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку єдиновременних та поточних витрат. У такому випадку слід використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками [59]:

- важливість розробки (K_1);
- можливість використання результатів (K_2);
- теоретичне значення та рівень новизни дослідження (K_3);
- складність виконання теми (K_4).

Шкала для оцінки важливості розробки K_1 :

- ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;

- робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями – 5 балів;
- результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі – 8 балів;
- результатами розробки можуть користуватися споживачі в різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

- робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;
- під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;
- внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;
- внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики або що-небудь подібне – 6 балів;

- отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

- роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;
- роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;
- роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;
- робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;
- робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200 000 гривень – 9 балів.

Результат бальної оцінки науково-технічної ефективності науково-дослідної роботи наведений в таблиці 4.5 і становить:

$$B = 5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 5 = 375 \quad (4.7)$$

Таблиця 4.5 – Бальна оцінка науково-технічної ефективності НДР

Показники оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристика даної розробки	Кількість балів
1	2	3	4
1. Важливість розробки	K_1	Робота являє собою частину відомчої програми	5
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями	5
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Отримання нової інформації, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів та була невідома раніше	3

4.Складність проведення дослідження	K_4	Робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 50 000 до 100 000 гривень	5
-------------------------------------	-------	---	---

Умовний річний економічний ефект науково-дослідної роботи визначається:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot B - E_{\text{Н}} \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (4.8)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

$E_{\text{Н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{Н}} = 0,1 \dots 0,5$).

Приймаємо $E_{\text{Н}} = 0,2$;

$V_{\text{НДР}}$ – витрати на виконання НДР (планова річна кошторисна вартість виконання НДР), $V_{\text{НДР}} = 71008,96$ грн.

Таким чином, умовний економічний ефект становить:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot 375 - 0,2 \cdot 71008,96 = 173298,2 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності визначаємо за формулою:

$$K_{\text{НДР}} = E_{\text{НДР}} / V_{\text{НДР}}, \quad (4.9)$$

$$K_{\text{НДР}} = 173298,2 / 71008,96 = 2,44.$$

Отримана розрахункова величина коефіцієнта економічної ефективності науково-дослідницької роботи ($K_{\text{НДР}} = 2,44$) свідчить про доцільність виконання даної роботи і є економічно обґрунтованим.[43]

Висновки до розділу 4

Розрахували планову кошторисну вартість (собівартість) науково-дослідницької роботи, яка склала 71008,96 грн.

Провели економічний аналіз доцільності даної науково-дослідницької роботи та виявили, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Технічний прогрес постійно, мов тінь, супроводжують техногенні аварії та нещасні випадки. За статистичними даними МОП, кількість нещасних випадків на виробництві у світі неухильно зростає і становить на теперішній час приблизно 250млн. щорічно (685 тис. виробничих травм на день). Рівень травматизму й профзахворюваності значно вищий у країнах, що розвиваються, ніж у промислово розвинутих державах. Так, у країнах Європейського Союзу щорічно жертвами нещасних випадків і профзахворювань стають близько 10 млн. осіб; з них майже 8 тис. гинуть. В Україні щоденно на виробництві травмуються в середньому 140...180 осіб, з них 20 стають інвалідами, а 3...4 гинуть [44].

Охорона праці – це система правових соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності [45].

Метою даного розділу є аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів (НШВФ) при виконанні роботи, порівняння величини виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів з допустимими значеннями та розробка заходів спрямованих на нормалізацію або усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів. [46].

Тема дипломної роботи – процеси структуроутворення литих алюмоматричних композиційних виливків, виготовлених з використанням продуктів рециклінгу.

Робота виконувалась в Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України, у відділі композиційних матеріалів, в лабораторії 105.

5.1 Аналіз параметрів приміщення

Площа лабораторії 103 складає 120 м², об'єм – 480 м³, розміри лабораторії: ширина – 8 м, довжина – 15 м, висота – 4 м. Відповідно площа лабораторії на

одного працюючого складає 30 м^2 . В лабораторії працює чотири працівники. Об'єм на одного працюючого складає 120 м^3 , що задовольняє вимоги санітарних норм та правил.

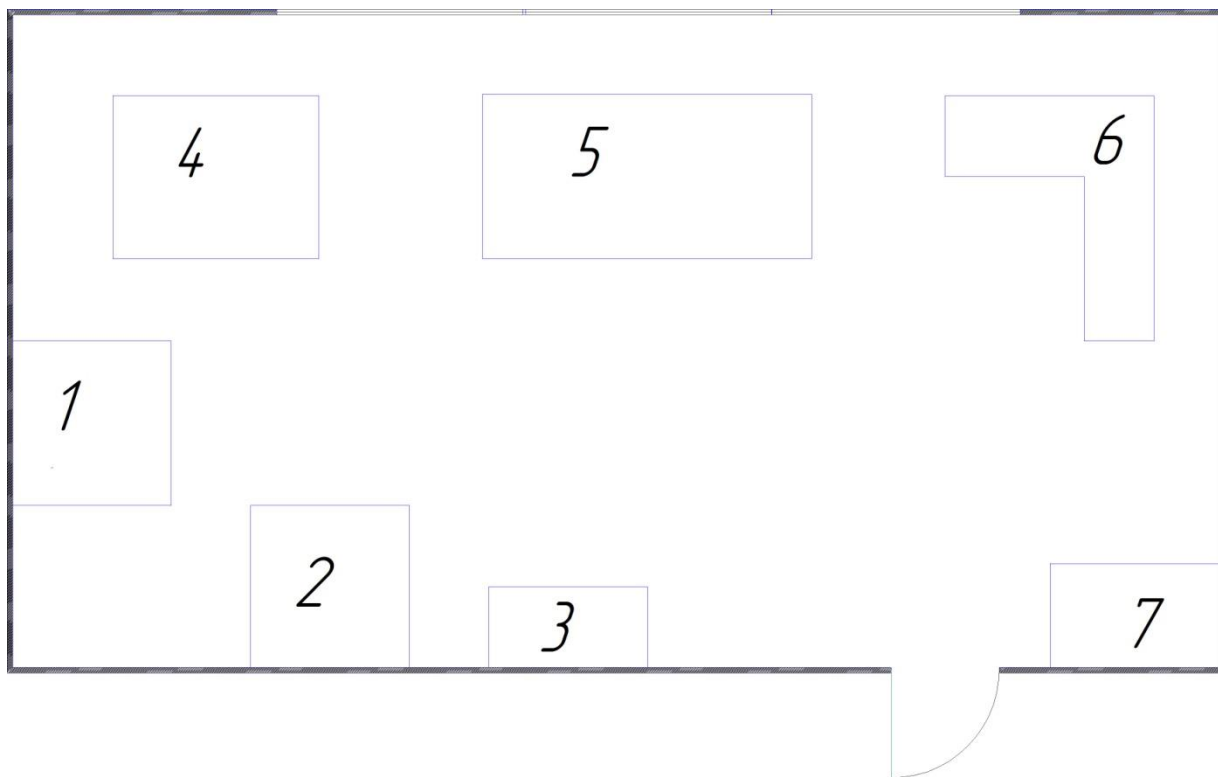


Рисунок 5.1 – План-схема лабораторії:

1 – велика селітова піч, 2 – мала селітова піч, 3 – трансформатор, 4 – місце для відходів власного виробництва, 5 – установка на зніс та тертя, 6 – місце інженера-технолога, 7 – місце засобів пожежної безпеки.

У лабораторії виплавляються виливки із композиційних матеріалів. Композити виплавляються в селітових електричних печах. У лабораторії над печами й установкою знаходяться вентиляції для вилучення із приміщення забрудненого й теплого повітря та подачі чистого.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні підтримуємо оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового випромінювання, які наведені у табл.5.1.

Категорії робіт за ступенем важкості в лабораторії розподіляються таким чином: місце для плавлення – категорія Пб – роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням дрібних (до 10 кг) виробів або предметів в положенні стоячи або

сидячи, і потребують певного фізичного навантаження; місце для проведення іспитів на зніс і тертя – категорія Па – роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів в положенні стоячи або сидячи і потребують певного фізичного напруження. Енерговитрати організму людини при таких категоріях робіт становлять: при Пб – 201...250 Ккал/год, при Па – 151...200 Ккал/год [44]

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99

Період року	Температура повітря °С			Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Оптимальна	Допустима на робочому місці		оптимальна	Допустима	оптимальна	допустима
		Постійно у	непостійно му				
Холодний	17-19	15-21	13-23	60-40	75	0,2	0,4
Теплий	20-22	15-27	15-29	60-40	70	0,3	0,2-0,5
Фактичні величини в робочій зоні приміщення							
Холодний	16			58		0,1	
Теплий	27			40		0,3	

З отриманих даних можна зробити висновок, що параметри мікроклімату знаходяться в межах допустимих нормативних значень відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.

5.2 Аналіз освітленості приміщення

В приміщенні використано два типи освітлення: природне та штучне. Природне освітлення добре впливає не тільки на зір, а також тонізує організм людини в цілому, сприяє гарному психологічному стану. Нормування параметрів освітлення здійснюється за ДБН В.2.5-28-2006. Нормоване значення КПО, e_N , для будинків, розташованих в різних районах, слід визначати за формулою

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де e_H – значення КПО, що становить 1,2 за таблицями 1 і 2 ДБН В.2.5-28-2006;

m_N – коефіцієнт світлового клімату становить 0,90 за таблицею 4 ДБН В.2.5-28-2006;

N – номер групи забезпеченості природним світлом за таблицею 4 ДБН В.2.5-28-2006.

$$e_N = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08 \%$$

Попередній розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових отворів, що мають забезпечити в приміщенні нормативні значення КПО. При боковому освітленні розрахунок проводиться за формулою:

$$100 (S_B/S_P) = (e_N \cdot k_3 \cdot \eta_B \cdot k_{\text{буд}}) / (\tau_{\text{заг}} \cdot r) \quad (5.2)$$

де S_B , S_P – площі вікон і підлоги у приміщенні;

e_N – нормативний коефіцієнт природного освітлення;

k_3 – коефіцієнт запасу, враховує зниження світлопропускання вікон і середовища у приміщенні, $k_3 = 1,2 \dots 1,5$. Приймаємо $k_3 = 1,35$;

η_B – світлова характеристика вікон, залежить від відношення розмірів приміщення у (довжини до глибини та глибини до висоти від рівня робочої поверхні до верхнього краю вікна), $\eta_B = 6,5 \dots 66,0$. Приймаємо $\eta_B = 8$;

$k_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, які розташовані напроти (залежить від відношення відстані між будівлями до висоти карнизу протилежного будинку над підвіконником вікна будинку, що розглядається), $k_{\text{буд}} = 1,0 \dots 1,7$. Приймаємо $k_{\text{буд}} = 1,35$;

$\tau_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт світлопропускання;

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (5.3)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу, оскільки в лабораторії скло віконне подвійне листове, то $\tau_1 = 0,8$;

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі, (рами віконні дерев'яні подвійні окремі) $\tau_2 = 0,6$;

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях, (регульовані жалюзі та штори) $\tau_4 = 1$;

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями, $\tau_5 = 1$.

r – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення та прилеглих будівель, (за таблицею 3.7)[44] $r = 1,35$ 1,3.

(коефіцієнти τ_1, τ_2, τ_4 визначалися за таблицею 3.6 [44])

$$100 (15/120) = (e_N \cdot 1,35 \cdot 8 \cdot 1,35) / (0,8 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3)$$

$$12,5 = 14,58 e_N / 0,624$$

$$e_N = 0,53$$

Оскільки отримане за формулою (5.2) значення КПО менше за значення встановлене ДБН В.2.5-28-2006, то у денний період потрібно застосовувати сумісне освітлення [47].

Штучне освітлення в приміщенні здійснюється системою загального рівномірного освітлення в комбінації з місцевим освітленням. Як джерела світла при штучному освітленні застосовуються світильники типу ЛПО-01 з люмінесцентними лампами типу ЛБ. Світильники розташовані в два ряди.

Загальне освітлення виконано у вигляді переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць, паралельно лінії зору користувача при рядному розташуванні обладнання.

Лабораторія не є виробничим приміщенням і норма штучного освітлення складає 400 лк. Ця лабораторія має довжину 15 м, ширину 8 м, висоту 4 м та 4 вікна. В якості світлових пристроїв в лабораторії встановлені світильники типу ЛПО-01. В кожному світильнику встановлено 2 лампи типу ЛБ потужністю 40 Вт кожна світловий потік якої становить $F=3200$ лм [44]. Світильники розміщені на висоті 118 мм від стелі. Площа лабораторії складає 120 м^2 .

Показник приміщення:

$$i = AB / (h(A+B)), \quad (5.4)$$

де A і B – довжина та ширина приміщення, м;

h – висота підвісу світильників над рівнем робочої поверхні, м. Визначаємо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 4 - 0,118 = 3,882 \text{ м}, \quad (5.5)$$

де H – висота стелі, м;

h_c – відстань від світильника до стелі, м.

Висота встановлення світильників розсіяного світла відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 повинна бути не менше 3 м при світловому потоці джерела світла до 6000 лм. В нашому випадку h_0 відповідає цій вимозі.

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює:

$$h = h_0 - h_p = 3,882 - 0,8 = 3,082 \text{ м}, \quad (5.6)$$

де h_p – висота робочих поверхонь (столів), $h_p = 0,8$ м;

h_0 – висота підвісу світильників над підлогою, м.

$$i = 15 \cdot 8 / (3,082 \cdot (15 + 8)) = 1,69$$

За таблицею 3.26 [44] коефіцієнт використання світлового потоку (η) з люмінесцентними лампами для типу світильника ЛПО-01 при $\rho_{\text{стелі}} 70\%$ і $\rho_{\text{стін}} 50\%$ і при $i = 1,69$ дорівнює $= 58 \%$.

Розрахунок проводимо за формулою:

$$E = F \cdot N \cdot \eta / k_z \cdot S \cdot Z, \quad (5.7)$$

де F – світловий потік світильника, лм, $F = 3200$ лм;

N – кількість світильників – 10 шт. і в кожному по 2 лампи;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, призначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення i , коефіцієнтів відбиття стін та стелі $\eta = 0,58$ (за таблицею 3.26 [1]). k_z – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп, $k_z = 1,3$;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $Z = 1,1$ – при використанні люмінесцентних ламп.

$$E = 3200 \cdot 20 \cdot 0,58 / 1,3 \cdot 120 \cdot 1,1 = 216 \text{ лк}$$

Для забезпечення нормованих значень освітленості в приміщенні потрібно проводити чищення скла віконних рам і світильників не рідше двох разів у рік і проводити своєчасну заміну перегорілих ламп.

Недостатність освітлення призводить до напруження зору, послаблює увагу, призводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрямок світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, тому настільки важливий правильний розрахунок освітленості.

5.3 Шум та вібрація

Джерелом шуму й вібрації є установка для проведення дослідів на зніс і тертя та вентиляція. Шум спричиняє шкідливий вплив на організм людини, та в першу чергу на центральну нервову систему та серцево-судинну систему, призводить до їхніх захворювань, сприяє зниженню продуктивності праці та збільшенню втомлюваності, викликає захворювання органів слуху. Тривалий вплив шуму може привести до погіршення слуху, а в окремих випадках – до глухоти. Для захисту від впливу шуму використовують протишумові навушники. Параметри, які нормуються, визначаються ДСН 3.3.6.037-99. Рівень звуку на робочих місцях допускається до 75 дБА. Причиною шуму в цеху є повітродувні насоси печей, конвеєри, крани. Шум не повинен перевищувати 80 дБ, згідно ДСН 3.3.6.037-99.

Вібрація може бути причиною порушення діяльності центральної нервової системи, дихальних органів, збільшення тиску. Припустимий рівень вібрації в ливарному цеху 100 Дб.

Над обладнанням, яке шумить, повинні знаходитись шумопоглиначі знаходяться плоскі звукопоглинаючі елементи – плоскі або об'ємні звукопоглинаючі елементи. Повітропроводи та газопроводи повинні бути устатковані глушниками. Для зменшення вібрації, яка спричинена коливальними рухами, необхідно максимально урівноважити частини, що обертаються, зменшити розбובтаність окремих частин.

5.4 Запиленість та загазованість

Згідно з ГОСТ 12.1.005–88 пил, який виділяється при проведенні досліджень на тертя (діоксид кремнію), відноситься до фіброгенних речовин. Пил, який попадає у організм людини через дихальні шляхи, може привести до розвитку професійних захворювань, пилового бронхіту, силікозу, пневмоконкозу. Джерелом запиленості і загазованості являється установка для проведення дослідів на зніс і тертя, та селітова піч. При плавці мідного лому та механічному обробленні (різка, шліфування, полірування) виливків у повітря виділяється пил Cu та CuO . При концентрації пилу в повітрі 0,22...1,4 мг/м³ у робітника вже через 1 год. з'являється подразнення слизових оболонок, головний біль, слабкість, біль у м'язах, підвищення температури, почастішання пульсу. Загалом мідний пил впливає на шлунковокишковий тракт, може викликати бронхіт. При хронічному отруєнні міддю можливі функціональні порушення нервової системи, порушення функцій нирок та печінки. [48].

Токсична дія алюмінію визначається лише продуктами розпаду.

В даній роботі плавлення відбувалося невеликими об'ємами в селітовій печі і при ввімкненій витяжці.

Вміст шкідливих речовин у атмосфері повітря не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) ГОСТ 12.1.005-88. Пил, який виділяється під час проведення дослідів на зніс і тертя повинен видалятися з приміщення лабораторії за допомогою вентиляції. Оскільки лабораторія оснащена потужною вентиляцією, то можна зробити висновок, що пил з приміщення видаляється повністю.

5.5 Електробезпека

У лабораторії ФТІМС НАН України розміщено таке електрообладнання: мала селітова піч, велика селітова піч, трансформатор, установка на зніс і тертя, які

живляться напругою 380 В змінного струму. За ступенем небезпеки ураження електричним струмом згідно ПУЕ-97 лабораторія відноситься до приміщень з особливою небезпекою ураження електричним струмом: наявність струмопровідної підлоги; відносна вологість більше 75%, але менше насичення, можливість одночасного доторкання людини до не струмопровідних частин електроустановки і до металоконструкції, що мають контакт із землею.

Причинами ураження електричним струмом можуть бути:

1. Доторкання до частин електроустановок, що випадково знаходяться під струмом внаслідок замикання фази на корпус, ушкодження ізоляції або інші несправності.
2. Ураження електричним струмом через електропровідну підлогу.
3. Ремонт обладнання при підключеному до нього живленні.

Чинники, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом, діляться на три групи: електричного характеру, неелектричного характеру і чинники виробничого середовища[46].

Чинники електричного характеру:

- відчутний струм – викликає при проходженні через організм відчутні подразнення;
- невідпускаючий струм – викликає при проходженні через організм непереможні судомні скорочення м'язів руки, в якій затиснуто провідник;
- фібриляційний струм – викликає при проходженні через організм фібриляцію серця.

Чинники неелектричного характеру:

- шлях струму через людину:
 - суттєво впливає на тяжкість ураження (коли проходить через життєво важливі органи);
 - рефлекторно, через центральну нервову систему (коли не проходить через життєво важливі органи)
- індивідуальні особливості і стан організму – більш тяжких уражень електричним струмом приводять стан збурення нервової системи, депресії,

захворювання шкіри, серцево-судинної системи, органів внутрішньої секреції, легеней;

- час дії струму – призводить до тяжких уражень;
- раптовості дії струму – якщо людина чітко усвідомлює загрозу враження струмом, то значення порогових струмів на 30-50% вищий, а якщо така загроза не усвідомлюється то такі значення менші.

Чинники виробничого характеру:

- температура повітря в приміщенні;
- вологість повітря;
- запиленість повітря;
- наявність в повітрі хімічно активних домішок;

Для забезпечення захисту від ураження струмом корпуси печі встановлені на ізолюючому покритті, для забезпечення заземлення печей використовуються виносні заземлення які забезпечують порівняно великий опір заземлюючого пристрою, котрий складається з вертикальних електродів з'єднаних горизонтальними електродами (обладнання з'єднуються з нульовим захисним провідником заземлюючим проводом).

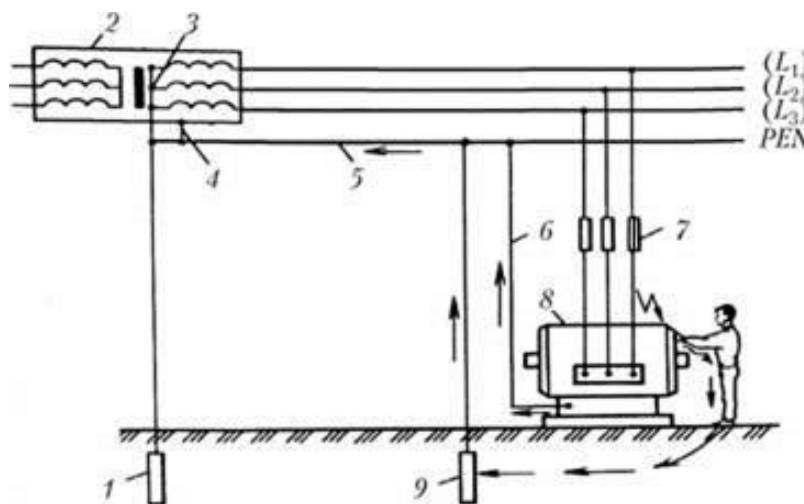


Рис. 5.2 – Схема занулення (система TN-C):

1 - заземлювач нейтралі трансформатора; 2 - джерело струму (трансформатор); 3 - нейтраль джерела струму; 4 - занулення корпусу трансформатора; 5 - нульовий робочий (він же і нульовий захисний) провід мережі; 6 - нульовий захисний провід електроустановки; 7 - запобіжник; 8 -

електроустановка; 9 - повторне заземлення нульового захисного проводу мережі; L 2, L 3 - фазні дроти; PEN - нульовий робочий провідник і нульовий захисний провідник, суміщені в одному

Аналогічним чином заземлюються всі електроприлади, що знаходяться в лабораторії. У разі пошкодження електроприладу або його електропроводників регламентують час автоматичного відключення пошкодженої лінії. У разі пошкодження електроприладу або його електропроводників в найкоротші терміни, відповідно до вимог Закону України "Про електроенергетику", ремонт повинен виконати спеціально кваліфікований спеціаліст, електротехнік.

5.6 Пожежна безпека

Основою для встановлення нормативних вимог щодо конструктивних та планувальних рішень на промислових об'єктах, а також інших питань забезпечення їхньої вибухопожежобезпеки є визначення категорій приміщень та будівель виробничого, складського та невиробничого призначення за вибухопожежною та пожежною небезпекою (ДСТУ Б.В.1.1.- 36:2016).

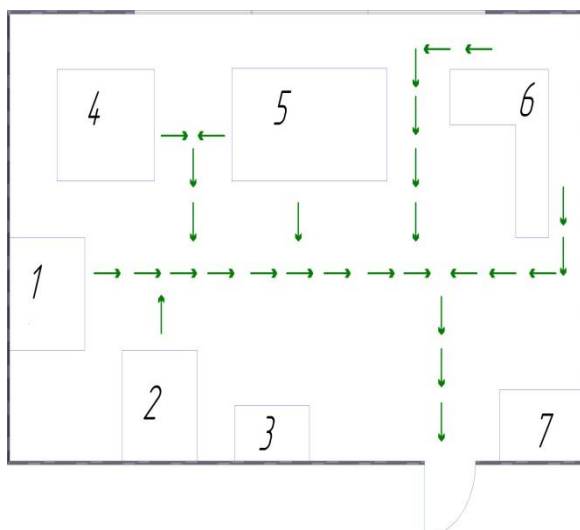
Категорія пожежної небезпеки приміщення (будівлі, споруди) – це класифікаційна характеристика пожежної небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в них із урахуванням особливостей технологічних процесів розміщених у них виробництв. Відповідно до приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д).

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1.- 36:2016 описане приміщення за вибухо- та пожежонебезпечністю відноситься до категорії Г, тобто приміщення в якому знаходяться негорючі речовини і матеріали в гарячому стані, процес роботи яких супроводжується виділенням променистої теплоти [49]

У приміщенні найбільш вибухо- і пожежонебезпечними місцями є місця, де розміщена дослідна установка, печі, прокладена електропроводка. Загоряння може

відбутися через коротке замикання в електропроводці. Система пожежної сигналізації – сукупність технічних засобів, призначених для виявлення пожежі, обробки, передачі в заданому вигляді повідомлення про пожежу, спеціальної інформації та видачі команд на включення автоматичних установок пожежогасіння і включення виконавчих установок систем протидимного захисту, технологічного та інженерного обладнання, а також інших пристроїв протипожежного захисту.

До складу будь-якої системи пожежної сигналізації входять пожежні сповіщувачі, приймальний прилад та автономне джерело електроживлення.



а



б

а) з лабораторії, б) з першого поверху ФТІМС НАН України

1 – велика селітова піч, 2 – мала селітова піч, 3 – трансформатор, 4 – місце для відходів власного виробництва, 5 – установка на зніс та тертя, 6 – місце інженера технолога, 7 – місце засобів пожежної безпеки.

Рисунок 5.3 – План евакуації з робочого приміщення

5.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Щодня у світі фіксуються тисячі подій, при яких відбувається порушення нормальних умов життя і діяльності людей і які можуть призвести або призводять до загибелі людей та до значних матеріальних втрат. Такі події називаються надзвичайними ситуаціями.

Загальними ознаками надзвичайних ситуацій є:

- наявність або загроза загибелі людей чи значне погіршення умов їх життєдіяльності,
- заподіяння економічних збитків,
- істотне погіршення стану довкілля.

Надзвичайні ситуації класифікуються за рівнями:

- НС об'єктового рівня;
- НС місцевого рівня;
- НС регіонального рівня;
- НС загальнодержавного рівня.

Надзвичайна ситуація об'єктового рівня – розгортається на території об'єкту або на самому об'єкті і наслідки якої не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони. Даний вид надзвичайної ситуації властивий споруді дослідницького інституту.

Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій за характером походження подій, котрі зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняє чотири класи надзвичайних ситуацій:

- техногенного характеру
- природного характеру
- соціально-політичного характеру
- військового характеру.

Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

На стійкість роботи об'єкту впливають наступні фактори: надійність захисту робітників і службовців від дії стихійних лих та техногенних катастроф; здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти дії цих стихійних лих і аварій (катастроф); підготовленість об'єкта до проведення рятувальних і невідкладних аварійних відновлювальних робіт і робіт по відновленню порушеної роботи споруди.

У будівлі Фізико-технологічного інституту можуть мати місце такі фактори виникнення надзвичайної ситуації: стихійні лиха – явища природи такого масштабу, які викликають катастрофічні ситуації, що характеризуються раптовим порушенням нормальної життєдіяльності населення, руйнування і знищення матеріальних цінностей (землетруси, зсуви, урагани).

Для захисту від землетрусів завчасно визначаються сейсмічні та небезпечні зони в різних регіонах держави, тобто проводиться сейсмічне районування. На картах сейсмічного районування переважно виділяють області, яким загрожує землетрус інтенсивністю VII-VIII балів по шкалі Ріхтера .

Будівлі інституту не загрожують дії землетрусів, оскільки Київська область не знаходиться в сейсмічно небезпечній зоні.

Достатньо стійка будівля і до дії зсувів. Територія будівлі знаходиться на рівній поверхні і ймовірність виникнення зсувів наближається до нуля.

Однак існує ймовірність того, що будівля інституту може піддаватися дії ураганного вітру, хоча на даній місцевості ніколи не було зареєстровано вітру силою 12 балів по шкалі Бофорта. Сучасні методи прогнозу погоди дозволяють за декілька годин і навіть діб попередити населення про насування такого стихійного лиха.

Для захисту будівлі інституту від пожеж, що викликані стихійними лихами (блискавки, замикання електропроводки внаслідок пошкодження магістралей і т.п.) використовуються громовідводи, автоматичні системи відключення, системи автоматичного пожежогасіння, а також первинні засоби пожежогасіння.

Виробничі аварії - раптовий вихід з ладу печей під час їх експлуатації, що супроводжується серйозними порушеннями виробничого процесу, утвореннями

вогнищ, пожеж, зон забруднення або виникнення інших ситуацій, що створюють загрозу людям і навколишньому середовищу.

Наслідками виробничих аварій і катастроф в лабораторіях інституту, як правило являються пожежі, в результаті яких руйнується будівля, пошкоджується техніка і обладнання.

Для захисту лабораторій ФТІМСу від виробничих аварій і катастроф, а також їх попередження, здійснюється комплекс організаційних, інженерно-технічних заходів, які визначають вимоги охорони праці і техніки безпеки, протипожежної безпеки, а також вимог інструкції по експлуатації обладнання, електричних установок, ємностей під тиском.

Висновки до розділу 5

1. Об'єм робочого приміщення задовольняє вимогам санітарних норм та правил.
2. Параметри мікроклімату знаходяться в межах допустимих нормативних значень відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.
3. Проведено заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях

6 БІЗНЕС-ПРОЕКТ

6.1 Команда

Фізико – технологічний інститут металів і сплавів Національної Академії Наук України, відділ композиційних матеріалів.

Лідер команди:

Івахненко М.О. (студент)

Генератор ідей:

Затуловський А.С. (д.т.н., зав. відділення композиційних матеріалів)

Маркетолог:

Кругляк Д.С. (студент)

Технолог:

Прудкий О.В. (студент)

6.2 Назва проекту

«Процеси структуроутворення литих алюмоматричних композиційних виливків, виготовлених з використанням продуктів рециклінгу»

6.3 Короткий опис проекту

Виготовлення алюмоматричних композиційних виливків з використанням продуктів рециклінгу, вирішує наступні задачі:

- підвищення зносостійкості виливків;
- підвищення ливарних властивостей;
- підвищення економічної ефективності використання залізовуглецевих сплавів.

Даний спосіб виготовлення композиційних матеріалів дозволяє значно підвищити зносостійкість виливків. Основне застосування – гірничо-промисловість, машинобудування, верстатобудування.

За видом проект відноситься до проектів «новий продукт на існуючий ринок».
Споживчий сегмент – B2B.

6.4 Бізнес-модель

6.4.1 Цінний продукт

Виготовлення литих композитів:

- поршні;
- шківні;
- гальмівне колесо;
- підшипники;
- колінчасті вали;
- циліндричні втулки.

6.4.2 Сегмент споживачів

Споживачами запропонованого продукту можуть бути наступні промислові підприємства:

- ТОВ «Агрополітех ЛТД»;
- ДП «Завод ім. Малишева»;
- ТОВ «Мелітопольський завод підшипників ковзання»;
- ТОВ «Ливарна компанія «Символ»;
- ДП «Харківське КБ з машинобудування ім. Морозова».

6.4.3 Канали збуту

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями відбувається через візити на підприємства та презентації товару, що

дають змогу більш детально ознайомитися з товаром. Також можливий контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут товару здійснюється за допомогою інтернет-ресурсів (інтернет-магазин), послуги компаній перевізників.

6.4.4 Взаємодія з споживачами

З конкретним споживачами взаємодія може відбуватися через особисті контакти, по телефону, електронній пошті; можливе застосування програм лояльності.

Із потенційними споживачами – через інформаційні інтернет-ресурси: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

6.4.5 Дохід (монетизація)

Отримання доходу з продажу готових виробів основної номенклатури та індивідуальних замовлень, а також впровадження своєї технології для інших виробників.

6.4.6 Ключові види діяльності

1) Наукова діяльність – це інтелектуальна творча діяльність, спрямована на одержання та використання нових знань. Основними її формами є фундаментальні та прикладні наукові дослідження.

2) Виробництво продукції – певний технологічний процес отримання виробів певної конфігурації та із заданими технологічними та механічними властивостями.

3) Маркетингова діяльність – являє собою творчу управлінську діяльність, завдання якої полягає в розвитку ринку товарів, послуг і робочої сили шляхом

оцінки потреб споживачів, а також у проведенні практичних заходів для задоволення цих потреб.

6.4.7 Ключові ресурси

Ключові ресурси можна поділити на:

- матеріальні: промислові приміщення, вихідні матеріали, фінансове забезпечення;
- інтелектуальні: технологія виготовлення продукції, охоронні документи (патенти), науково-технічні працівники.

6.4.8 Ключові партнери

Ключовими партнерами є:

- підприємство, яке забезпечує виробничу базу;
- компанії з надання логістичних і маркетингових послуг;
- постачальники сировини та енергоресурсів для виробництва.

6.4.9 Витрати

Витрати на оренду промислових потужностей. Витрати на ресурсозабезпечення, логістику, маркетинг, підтримку інтернет-ресурсів.

6.5 Споживчі властивості товару

Представлений композиційний матеріал може підвищити зносостійкість, міцність та зменшити вагу виробів.

6.6 Дослідження ринку

За результатами аналізу існуючого ринку продукції аналогічного призначення можна зробити висновок, що технології, які використовуються на сьогодні для виробництва виробів аналогічного призначення можуть програвати за міцнісними й трибологічними характеристиками та вагою готових виробів.

6.7 Дослідження конкурентного оточення

Було проаналізовано матеріали і методи модифікування, що використовують українські підприємства, а також підприємств Європи і СНД. Аналогів запропонованим нами методики виготовлення композитів не було виявлено. Ймовірних конкурентів немає.

6.8 Маркетингова стратегія просування

Маркетингова стратегія просування проекту складатиметься з:

- просування проекту в мережі Internet;
- участі у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- зустрічей безпосередньо на підприємствах, які користуються запропонованою продукцією та проведення демонстрацій та «особистих продажів» виробів;
- поступовим опануванням ринку України та виходом на міжнародний ринок.

6.9 Елементи фінансового плану

6.9.1 Опис бізнес-проекту

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу виробів, виготовлених за розробленою технологією.

Актуальність проекту – створення енерго- та ресурсозберігаючої технології одержання композиційних антифрикційних матеріалів армованих продуктами рециклінгу з підвищеним рівнем триботехнічних та ливарних властивостей матеріалу.

6.9.2 Опис товару/послуги/технології

Запропонований композиційний матеріал можна використовувати в машинобудівній та гірничій промисловостях.

6.9.3 Маркетинг та продаж

Цільовий сегмент – B2B. Підприємства гірничої та машинобудівної галузей промисловості.

Маркетингова стратегія просування проекту на початкових етапах включає в себе:

- просування проекту в мережі Internet;
- участь у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців.

Для продажу застосовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через інтернет-ресурси.

6.9.4 Фінансовий план

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не прораховувався. Однак, розраховано, що заплановані інвестиції для впровадження у виробництво та виробництва готових виробів в межах одного підприємства-виробника становлять:

- оренда промислової потужності: 6000 \$
- відпрацювання технології в умовах виробництва: 1500 \$
- ресурсозабезпечення: 2000 \$
- затрати на логістику, маркетинг, з/п: 5000 \$

Поточна ситуація по проекту:

- проект на стадії відпрацювання та удосконалення технології в лабораторних умовах;
- в наявності є дослідні зразки;

6.9.5 Резюме

Проект призначений для вирішення проблеми швидкого зношення частин обладнання, яке працює у важконавантажених вузлах, та для підвищення трибологічних та міцнісних характеристик, а також зменшення ваги виробу.

Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 15000 \$.



ВИСНОВКИ

1. У роботі показано, що для України і ін. країн в зв'язку з обмеженістю ресурсів базових кольорових і легуючих металів, необхідністю зниження матеріало- та енергоємності механізмів і машин, актуальним є створення нових недефіцитних функціональних і конструкційних композиційних матеріалів на металевій основі для масового машинобудування.
2. На підставі короткого аналізу показано, що економно-армовані ЛКМ мають достатню сировинну базу як металевих, так і неметалевих шихтових компонентів. У зв'язку з постійним зростанням кількості техногенних і побутових відходів в Україні та ін. Країнах вкрай гостро стоїть проблема розробки і впровадження ефективних способів утилізації стружки чорних і кольорових сплавів, металургійних шлаків і ін. Удосконалення технології утилізації відходів затребувано промисловістю і є актуальним завданням сучасності. Показано, що в цьому плані ефективна утилізація техногенних відходів при отриманні ЛКМ має ряд істотних переваг в порівнянні з традиційними методами металургійного переплаву.
3. Розроблено та вдосконалено існуючі ефективні ливарні технології консолідації компонентів ендогенних та екзогенних алюмоматричних композиційних матеріалів із застосуванням додаткових впливів та відходів монометалів, композиційних та неметалевих деталей. Це такі технологічні процеси: механічне замішування ex-situ або реакційно активних частинок (in-situ) та технологія відцентрового литва.
4. Математичне і фізичне моделювання руху часток при відцентровому литті дало можливість одержати щільні литі композиційні виливки на основі алюмінієвого сплаву, зміцнені елементами бронзової стружки та частинками кам'яного лиття із зовнішнім композитним шаром (4-5 мм) і рівномірним їх розподілом по всій довжині втулки.

5. Вивчення впливу зміцнюючих часток на ливарні властивості показало, що рідиноплинність екзогенних композиційних матеріалів зменшується при збільшенні введених зміцнюючих часток, а внесення частинок кам'яного литва в алюмінієві сплави АК7, АК12, АЛ25 в кількості до 6 ваг.% в середньому знижує абсолютну об'ємну усадку на 2 %.
6. Математичне моделювання процесів заливання і твердіння композиційних виливків показало високу кореляцію з експериментальними даними по ливарним властивостям. Це дало змогу мінімізувати кількість експериментів та виконати розрахунки і одержати точні дані по рідиноплинності та лінійній усадці композиційних матеріалів.
7. Розрахували планову кошторисну вартість (собівартість) науково-дослідницької роботи, яка склала 71008,96 грн. Провели економічний аналіз доцільності даної науково-дослідницької роботи та виявили, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.
8. Об'єм робочого приміщення задовольняє вимогам санітарних норм та правил. Параметри мікроклімату знаходяться в межах допустимих нормативних значень відповідно до ДСН 3.3.6.042-99. Проведено заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Затуловский А.С., Косинская А.В. ЛИТЫЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ «IN-SITU» ЧАСТИЦАМИ // IX Міжнародна науково-технічна конференція Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2017: матеріали науково-технічної конференції, 30...31 травня 2017 р., м. Київ / загальна редакція Р. В. Лютий, І. М. Гурія. – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – 71 – 72 с.
2. Затуловский А.С., Лакеев В.А., Щерецкий В.А., Ивахненко М.О. ЛИТЫЕ КОМПОЗИТЫ С СИЛУМИНОВОЙ МАТРИЦЕЙ, АРМИРОВАННЫЕ БРОНЗОВОЙ СТРУЖКОЙ // IX Міжнародна науково-технічна конференція Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2017: матеріали науково-технічної конференції, 30...31 травня 2017 р., м. Київ / загальна редакція Р. В. Лютий, І. М. Гурія. – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – 73 с.
3. Носков В.А. Подготовка и переработка железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. - №2. – С.109 – 113.
4. Найдек В.Л. Создание новых технологий и материалов на основе фундаментальных исследований. – Литейное производство, 1991, № 3, с.3-4.
5. Затуловский С.С. и др. Литые композиционные материалы: Киев, Техника, 1990. – 240с.
6. Затуловский С.С. и др. Эффективные схемы производства и применения металлической дробы, Металлург, 2000, № 6, с.39-47
7. Лякишев Н.П., Цветков Ю.В., Югов П.И. и др. Создание металлургических технологий утилизации и переработки промышленных и бытовых отходов // ЧерметинформацияБНТиЭИ. Новости черной металлургии России и зарубежных стран. Ч.І, вып. 3-4. – 1998. – С.66 – 69.
8. Шевелев Л. Н. Экологически чистые металлургические технологии рационального использования энергоресурсов, утилизации и переработки отходов / Л. Н. Шевелев, П. И. Югов, Л. А. Баева. // Новости черной

- металлургии России и зарубежных стран. Ч.I, Черная металлургия. – 1999. – №5-6. – С. 3–10.
9. Большаков В.И. и др. Роль металлургии в утилизации техногенных отходов //Тезисыдокл. конференции «Научные, технологические и экономические аспекты использования отходов производства». – Киев: Знание, 1998.
 10. Носков В.А. Подготовка и переработка железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. - №2. – С.109 – 113.
 11. Вторичные материальные ресурсы цветной металлургии. Лом и отходы цветных металлов. Справочник. – Москва, Экономика, 1984, 152с.
 12. Баранов А.А., Микуляк О.П., Резняков А.А. Технология вторичных цветных металлов и сплавов. – Киев: Выща школа, 1988. – 163с.
 13. Худяков И.Ф. и др. Технология вторичных цветных металлов. М., Металлургия, 1982, 280с.
 14. J.W. Kaczmar, K. Pietrzak, W. Włosin'ski. The production and application of metal matrix composite materials // Journal of Materials Processing Technology 106 – 2000. – P. 38–67
 15. J.M. Torralba, C.E. da Costa, F. Velasco P/M aluminum matrix composites: an overview // Journal of Materials Processing Technology 133 – 2003. – P. 203–206
 16. Jerzy J. Sobczak, Ludmil Drenchev Metallic Functionally Graded Materials: A Specific Class of Advanced Composites // J. Mater. Sci. Technol., 2013, -(–), 1e20
 17. Bala G. Narasimha, Vamsi M. Krishna ,and Dr. Anthony M. Xavier ,A Review on Processing of Particulate Metal Matrix Composites and its properties // International Journal of Applied Engineering Research, SSN 0973-4562. – Volume 8, № 6. –2013. – P. 647-666
 18. Патент на корисну модель №78534 Спосіб виробництва виливок з макрогетерогенного композиційного матеріалу // Зареєстровано в Державному реєстрі патентів 25.03.2013.

19. Затуловский А.С., Лакеев В.А., Каранда Е.А. Литые алюмоматричные композиты, армированные бронзовой стружкой // XI Международная научно-практическая конференция Литье. – 2015. – С. 104 – 105.
20. Лакеев В.А., Затуловский А.С., Каранда О.А., Король Л.В. Алюмоматричные композиты, армированные отходами механической обработки композиционных деталей системы медь-сталь // XI Международная научно-практическая конференция Литье – 2015 С. 154 – 156.
21. Lim, C.S.; Clegg, A.J. The production and evaluation of metal-matrix composite castings produced by a pressure-assisted investment casting process // Journal of Materials Processing Technology. – vol. 67, issue 1-3. – 1997. –P. 13 – 18.
22. Bhagat, R.B. High pressure squeeze casting of stainless steel wire reinforced aluminium matrix composites // Composites vol. 19 issue 5 September, 1988. P. 393 – 399.
23. T. M. Yue, Chadwick, G.A. Squeeze casting of light alloys and their composites // Journal of Materials Processing Technology. – vol. 58, issue 2-3. – 1996. P. 302 – 307.
24. D. Kopeliovich Liquid state fabrication of Metal Matrix Composites. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=liquid_state_fabrication_of_metal_matrix_composites.
25. Seyed Reihani Processing of squeeze cast Al6061–30vol% SiC composites and their characterization // Materials and Design. – vol. 27, issue 3. – 2006. –P. 216 – 222.
26. T. M. Yue, G.A. Chadwick Squeeze casting of light alloys and their composites // Journal of Materials Processing Technology. – vol. 58 issue 2. – 1996. – P. 302 – 307. Гаврилин И.В. Проблема переплава алюминиевой стружки // технология легких сплавов. – 1999. - №1-2. – С.164 – 169.
27. Wang E. R., X. D.Hui, S. S.Wang, Y. F.Zhao, G. L.Chen Improved mechanical properties in cast Al-Si alloys by combined alloying of Fe and Cu // Materials Science and Engineering – 2010. – № A 527. – P. 7878 – 7884.

28. Затуловский С. С. Концепция развития литых композиционных материалов // Процессы литья. – 1997. – №4. – С. 9 – 10.
29. Sencakova L., E. Vircikova Life cycle assessment of primary aluminium production // Acta Metallurgica Slovaca. – 2007. – vol. 3, № 13 – P. 412 – 419.
30. Das S. K. Designing Aluminum Alloys for a Recycling Friendly World. Materials Science Forum. – 2006. – Vol. 519-521. – P. 1239 – 1244.
31. Das K. S., J. A. S. Gren Aluminum Industry and Climate Change-Assessment and Responses // JOM. – 2010. – Vol 62, № 2 – P. 27-31.
32. С.С. Гусев, Д.Н. Лобков, С.С. Казачков Использование методов центробежного литья для получения изделий из композиционных материалов с упрочненной поверхностью. // «Материаловедение». – 1999. – №5. – С. 50 – 53
33. Эскин Г.И. и др. Устранение структурной неоднородности композитов на основе алюминиевых сплавов с целью повышения их качества. // Литейное производство. – 2001. – №9. – С. 2 – 8
34. A. Dolata-Grosz и др. Struktura strefowa kompozitow AK12-Al₂O₃-AK12-SiC kształtowana w Prozesie odlewania odsrod kowedo // Kompozyty. – 2002. – №5. – С. 305 – 308
35. J. Braszczyński. Lite kompozitni materially c kovovou matrici // Slevarcnstvi. – 2004. – №6. – С. 209 – 212
36. C.G. Kang, P.K. Rohatgi Transient thermal analysis of solidification in a centrifugal casting for composite materials containing particle segregation // Metallurgical and Materials Transactions. – 1996. – 27B. – P. 277 – 285.
37. Kevorkijan, V. Aluminium based friction components // Amer. Ceram. Society Bui. – 2002. – V.81. – №11. – P. 20 – 24
38. V. Kevorkijan Functionally graded aluminium matrix composites // Amer. Ceram. Society Bui. – 2003. – V.82. – P. 157 – 161
39. С.С. Гусев, Д.Н. Лобков, С.С. Казачков Использование методов центробежного литья для получения изделий из композиционных

материалов с упрочненной поверхностью. // Материаловедение. – 1999. – №5. – С. 50 – 53.

40. Xie Shenghui, Zeng Xierong, tang Jiaoning, Chen Kanghua, Liu Hongwei. Shenghui Tezhong zhuzao ji youse hejin // Spec. Cast. And Nonferrous Alloys. – 2003. – №5. – P. 3 – 6
41. Нехендзи Ю.А., Купцов И.В. Комплексная проба для определения литейных свойств сплавов // Л.: – 1967. – 42 с.
42. Нехендзи Ю.А., Самарин А.М. Жидкотекучесть металлов и новая проба для стали // Труды ЦНИИ Мин-ва транспортного машиностроения. – 1946. – №5. – С. 62 – 67
43. Методичні рекомендації до розробки економічної частини дипломних проєктів і робіт, Кривда В.І., Нараєвський С.В., Черненко Н.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2011 р. – 52 с.
44. В. Ц. Жидецький. Основи охорони праці: Підручник / 3-є вид., перероблене та доповнене – Львів: Українська академія друкарства, 2008. – 336 с.
45. Конспект лекцій з дисципліни «Охорона праці»
46. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006 – 448 с.
47. ДНБ В.2.5.-28-2006.
48. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том III. Неорганические и элементоорганические соединения. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. биол. наук проф. И.Д. Гадаскиной. Л., «Химия», 1977. – 608с.
49. ДСТУ Б.В.1.1.-36:2016.

ДОДАТКИ